

**DIMENSIONAMENTO E OPTIMIZAÇÃO DE  
EQUIPAMENTOS E UTILIDADES**

**ACETATOS DAS AULAS**

**OPTIMIZAÇÃO TÉCNICO – ECONÓMICA**

M. Gabriela Bernardo Gil

2005/2006

## **OPTIMIZAÇÃO TÉCNICO – ECONÓMICA**

### **GENERALIDADES**

**OPTIMIZAÇÃO** → SEMPRE QUE HÁ POSSIBILIDADE DE EXISTIR MAIS DO QUE UMA SOLUÇÃO PARA A RESOLUÇÃO DE UM PROBLEMA.

**TECNICAMENTE** → RESOLUÇÃO DE UM PROBLEMA DE DIFERENTES MANEIRAS MAS DEVE RESOLVER-SE DA MANEIRA MAIS RACIONAL.

**É PORTANTO. NECESSÁRIO SELECIONAR UM CRITÉRIO DE OPTIMIZAÇÃO.**

## **NOÇÕES BÁSICAS DE ECONOMIA**

### **INVESTIMENTO**

- É o CAPITAL DISPENDIDO NA REALIZAÇÃO DE UM PROJECTO.

**INVESTIMENTO FIXO** – CAPITAL NECESSÁRIO PARA O

PROJECTO. O EQUIPAMENTO

FUNDAMENTAL E ACESSÓRIO. OS EDIFÍCIOS

**CAPITAL CIRCULANTE** – CAPITAL NECESSÁRIO PARA FAZER

FUNCIONAR A FÁBRICA

## **IMOBILIZADO – FERRAMENTA PARA A FABRICA**

**INCORPÓREO**

**CORPÓREO**

### **FAZEM PARTE DO IMOBILIZADO:**

- CUSTO DE EQUIPAMENTO
- AQUISIÇÃO DE “NOW-HOW”
- EDIFÍCIOS
- PROJECTOS
- PATENTES
- EMPRÉSTIMOS FEITOS POR BANCOS, INCLUINDO JUROS. ANTES DO ARRANQUE
- MATÉRIAS-PRIMAS DEITADAS FORA. ANTES E DURANTE O ARRANQUE
- UTILIDADES GASTAS DURANTE O ARRANQUE

**IMOBILIZADO CORPÓREO** – TODAS AS DESPESAS DE  
EQUIPAMENTO. INCLUINDO JUROS

**IMOBILIZADO INCORPÓREO** – TODAS AS OUTRAS DESPESAS,  
TAIS COMO. PATENTES “KNOW-HOW”,  
UTILIDADES E MATÉRIAS-PRIMAS DEITADAS  
FORA ANTES E DURANTE O PROCESSO DE  
INSTALAÇÃO (ARRANQUE). INCLUINDO OS  
JUROS.

Portanto:

DO IMOBILIZADO FAZEM PARTE TODAS AS DESPESAS EFECTUADAS  
DURANTE O PROJECTO E DURANTE O ARRANQUE DA FÁBRICA.

**ATÉ SE EFECTUAR A IMOBILIZAÇÃO.**

DEPOIS DE EFECTUADA A IMOBILIZAÇÃO. MATÉRIAS-PRIMAS E  
UTILIDADES JÁ NÃO FAZEM PARTE DO IMOBILIZADO.

## AMORTIZAÇÃO

É A RECUPERAÇÃO LEGAL DO INVESTIMENTO NUM DADO ANO

( $A_i$ )

- NÃO INCLUI LUCROS

## AMORTIZAÇÃO ACUMULADA

$$A_{ac} = \sum_{i=1}^n A_i$$

IMOBILIZADO LÍQUIDO = IMOBILIZADO BRUTO –

AMORTIZAÇÃO ACUMULADA

## TEMPO DE VIDA ÚTIL DO INVESTIMENTO

**$V_U$**  – **VIDA ÚTIL** – Nº DE ANOS EM QUE SE EFECTUA A AMORTIZAÇÃO

É UMA NOÇÃO DE VIDA LIGADA A TODO O INVESTIMENTO.

- A AMORTIZAÇÃO DO INVESTIMENTO É EFECTUADA DURANTE A SUA VIDA ÚTIL.

$$A_i = \frac{I}{V_U}$$

- TODO O IMOBILIZADO É PASSÍVEL DE AMORTIZAÇÃO.
- DEPOIS DA IMOBILIZAÇÃO, TUDO O QUE É ADQUIRIDO JÁ NÃO É PASSÍVEL DE AMORTIZAÇÃO. EXCEPTO **GRANDES REPARAÇÕES**.

**LEGALMENTE A AMORTIZAÇÃO DO IMOBILIZADO CORPÓREO É EFECTUADA EM TERMOS DIFERENTES DO IMOBILIZADO INCORPÓREO.**

NA INDÚSTRIA QUÍMICA É VULGAR ATRIBUIR-SE UMA **VIDA ÚTIL** PARA O EQUIPAMENTO (**IMOBILIZADO CORPÓREO**), EM MÉDIA, DE **10 ANOS**. MAS PODE DIFERIR DE INDÚSTRIA PAR INDÚSTRIA E DE EQUIPAMENTO PARA EQUIPAMENTO.

A AMORTIZAÇÃO DO **IMOBILIZADO INCORPÓREO**, POR IMPOSIÇÃO LEGAL. É EFECTUADA EM **3 ANOS**.

NORMALMENTE USA-SE UMA **AMORTIZAÇÃO PROPORCIONAL AO NÚMERO DE ANOS DE VIDA ÚTIL:**

**GRANDES REPARAÇÕES** SÃO AMORTIZADAS EM **5 ANOS**. NO CASO DE JÁ NÃO EXISTIREM **5 ANOS** PARA AMORTIZAÇÃO, DEVEM SER AMORTIZADAS NO **Nº. DE ANOS QUE FALTAM PARA A FINALIZAÇÃO DO PROJECTO**

**EDIFÍCIOS** SÃO AMORTIZADOS EM **25 ANOS**.



## CASH-FLOW

**FLUXO DE CAIXA** É TUDO O QUE ENTRA NA CAIXA – TUDO O QUE SAI DA CAIXA

CF = RECEITAS – DESPESAS DE  
FUNCIONAMENTO – INVESTIMENTO.

### DESPESAS DE FUNCIONAMENTO

- Matérias-primas
- Pessoal
- Utilidades
- Manutenção, juros, impostos
- etc.

### 'CASH-FLOW' ACUMULADO

$$CF_{ac} = \sum_{i=1}^n CF_i$$

LUCRO

LUCRO BRUTO OU LUCRO ANTES DE IMPOSTOS

LUCRO BRUTO = RECEITAS - DESPESAS -  
- AMORTIZAÇÃO

LUCRO LÍQUIDO = LUCRO BRUTO - IMPOSTOS

CF = LUCRO LIQUIDO + AMORTIZAÇÃO -  
- INVESTIMENTO

## TAXA DE INFLAÇÃO

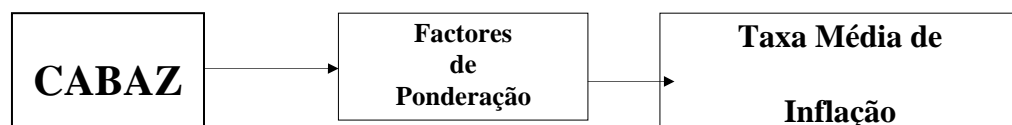
- Variação por unidade de preço de um produto por ano.
- Mede a desvalorização da moeda.
- As taxas de inflação publicadas são normalmente as do consumidor e portanto são taxas ponderadas
- Na realidade só se deveria dizer que um determinado produto teve uma determinada taxa de inflação.

**A TAXA DE INFLAÇÃO MÉDIA PONDERADA É  
CALCULADA FIXANDO UM DETERMINADO CABAZ**

**CABAZ** - Quantitativo de produtos que são representativos do consumo médio da população.

Incluem: Habitação  
Produtos Alimentares  
Calçado  
Vestuário. etc

com coeficientes de ponderação que dependem dos consumos efectuados e que são diferentes de produto para produto.



## PREÇOS

- CONSTANTES
- CORRENTES

Uma vez que há inflação os preços não são constantes.

- Se a inflação fosse  $= 0$ , teríamos preços constantes e o que um bem custa agora seria o que custaria daqui, por exemplo, a 10 anos.
- Se a inflação é  $\neq 0$ , a análise deveria ser efectuada a preços correntes.

Esta análise é muito mais complicada e tanto mais quanto mais diferente for a inflação de produto para produto.

Se a inflação fosse igual para todos os produtos, a análise a preços constantes conduziria aos mesmos resultados que a análise a preços correntes.

A análise a preços correntes só é possível se for possível definir o chamado **CENÁRIO** que nos diz qual vai ser a evolução dos vários componentes do “Cash-Flow”.

Como o estabelecimento deste cenário é altamente inseguro, prefere-se efectuar a análise a preços constantes. Faz-se depois um estudo secundário que consiste em analisar como é que irão evoluir quer as despesas quer as receitas.

## TAXA DE JURO

- É A FRACÇÃO DO CAPITAL QUE É PAGA PARA REMUNERAR A DISPONIBILIDADE DE CAPITAL ALHEIO.
- EMBORA LIBERALIZADA, DEPENDE DO BANCO CENTRAL

### TAXA DE JURO COMPOSTA

$$T_c = (1 + T_j) (1 + T_i) - 1$$

$T_j$  – TAXA DE JURO LÍQUIDA

$T_i$  – TAXA DE INFLACÇÃO

## RISCO

- QUANDO A INFLACÇÃO É MUITO ELEVADA. A NOÇÃO DE RISCO É PARTICULARMENTE CRÍTICA.
- A DESVALORIZAÇÃO DA MOEDA ELEVADA FAZ COM QUE A REMUNERAÇÃO AO CAPITAL SEJA ARISCADA.

## 'PAY - OUT TIME'

## TEMPO DE RECUPERAÇÃO DO CAPITAL

- É O TEMPO AO FIM DO QUAL SERÁ RECUPERADO O CAPITAL IMOBILIZADO.
- É O TEMPO AO FIM DO QUAL SE ANULA O CASH - FLOW ACUMULADO.
- É UMA 'MEDIDA' MUITO IMPORTANTE EM TERMOS DE RISCO.

- FORNECE UMA IDEIA DO GRAU DE RISCO DE LIQUIDEZ DO PROJECTO.
- EM TEMPO DE GRANDE INSTABILIDADE, A UTILIZAÇÃO DESTE AVALIADOR É UMA FORMA DE AUMENTAR A SEGURANÇA DO INVESTIMENTO.

**RISCO TECNOLÓGICO**

**RISCO DE MERCADO**

- EM EMPREENDIMENTOS COM ELEVADO GRAU DE OBSOLESCÊNCIA. O MAIS IMPORTANTE É O RISCO TECNOLÓGICO.

**QUANTO < É O 'PAY - OUT TIME' < É O RISCO**

- **'PAY - OUT TIME'** DEVE SER USADO COMO COMPLEMENTO DE OUTRO AFERIDOR. SOBRETUDO EM TEMPO DE INSTABILIDADE – A **RENTABILIDADE INTERNA** ou o **VAL**

## EXEMPLO: PROJECTO PARA 10 ANOS:

**Milhar de Euros**

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
<b>INV. G.R.</b>	<b>-396.1</b>	<b>-290.9</b>					<b>-10.2</b>	
<b>Inv. Inc</b>		<b>-24</b>						
<b>Vendas</b>		<b>165.3</b>	<b>398</b>	<b>345</b>	<b>529.9</b>	<b>694.8</b>	<b>700</b>	<b>700</b>
M.obras		1.8	7.3	7.8	8.2	8.8	8.9	9
Conserv.		1.2	1.2	1.3	1.3	1.4	1.4	1.5
Amort.		39.61	76.7	76.7	76.7	68.7	68.7	71.25
<b>C Fixos</b>		<b>42.61</b>	<b>85.2</b>	<b>85.8</b>	<b>86.2</b>	<b>78.9</b>	<b>79</b>	<b>81.75</b>
M. Primas		69.7	210.7	210.7	189.7	210.7	210.7	210.7
Outros (Utilidades. etc.)		16.5	57.9	57.9	48.5	57.9	57.9	57.9
<b>C Var.</b>		<b>86.2</b>	<b>268.6</b>	<b>268.6</b>	<b>238.2</b>	<b>268.6</b>	<b>268.6</b>	<b>268.6</b>
<b>L. Bruto</b>		<b>36.49</b>	<b>44.2</b>	<b>-9.4</b>	<b>205.5</b>	<b>347.3</b>	<b>352.4</b>	<b>349.6</b>
Imp. (28%)		10.22	12.38	<b>0.00</b>	57.54	97.24	98.67	97.90
<b>L. Liq.</b>		<b>26.27</b>	<b>31.82</b>	<b>-9.40</b>	<b>147.96</b>	<b>250.06</b>	<b>253.73</b>	<b>251.7</b>
								<b>5</b>
<b>CF Anual</b>	<b>-396.1</b>	<b>-249.02</b>	<b>108.52</b>	<b>67.30</b>	<b>224.66</b>	<b>318.76</b>	<b>322.43</b>	<b>323.0</b>
								<b>0</b>
<b>CF Acumulado</b>	<b>-396.1</b>	<b>-645.12</b>	<b>-536.59</b>	<b>-469.29</b>	<b>-244.63</b>	<b>74.12</b>	<b>396.55</b>	<b>719.5</b>
								<b>5</b>

‘Pay-Out Time’

$$\text{Lucro Bruto} = V - \text{CFIX} - \text{CVAR}$$

$$\text{Lucro Liq.} = \text{L.BRUTO} - \text{IMP.}$$

$$\text{CF}_{\text{annual}} = V - \text{INV} - \text{CFIX} + \text{AMOR} - \text{CVAR} - \text{IMP}$$

$$\text{CF} = \text{L.B.} + \text{AMOR} - \text{INV} - \text{IMP}$$

$$\text{CF} = \text{L.L.} + \text{AMOR} - \text{INV}$$



## TAXA DE ACTUALIZAÇÃO

- FACTOR QUE PONDERA O TEMPO.
- É UM FACTOR SUBJECTIVO QUE PONDERA QUANTO VALE PARA NÓS A ESPERA DE DISPORMOS DOS BENS ECONÓMICOS.

ASSIM, SE O **VALOR ACTUAL** DE UM BEM ECONÓMICO FOR **VA**, O SEU **VALOR NO FUTURO (VF)**, NO ANO  **$n$**  À TAXA DE ACTUALIZAÇÃO  **$i$**  SERÁ:

$$VF = VA (1 + i)^n$$

## RENTABILIDADE MÉDIA

- É O QUOCIENTE ENTRE O LUCRO ANUAL E O INVESTIMENTO INICIAL
- NÃO ENTRA COM O FACTOR TEMPO

$$RM = \frac{\text{LUCRO ANUAL}}{\text{INVESTIMENTO INICIAL}}$$

## VALOR LÍQUIDO ACTUAL

- **VLA** OU **VAL** NUM DETERMINADO ANO (**L**) - É O SOMATÓRIO DOS 'CASH FLOWS' ANUAIS ACTUALIZADOS A UMA TAXA (**i**) PARA O ANO (**L**).

$$VAL = \sum_{k=M}^{Nt} \frac{CF_k}{(1+i)^k}$$

## RENTABILIDADE INTERNA

RETOMANDO:  $VF = VA (1 + i)^n$

OU

$$VA = VF \frac{1}{(1 + i)^n}$$

$i$  – TAXA DE ACTUALIZAÇÃO

$n$  – NÚMERO DO ANO QUE PODE SER QUALQUER VALOR.  
**INFERIOR, IGUAL OU SUPERIOR A ZERO.  
 CONFORME O CASO.**

A TAXA DE ACTUALIZAÇÃO ( $i$ ), EMBORA SEJA UM VALOR SUBJECTIVO, DEPENDE DA TAXA PRATICADA PELOS BANCOS ( $i_b$ ) E DA TAXA DE INFLACÇÃO ( $T_i$  ou  $i_f$ ). PODENDO SER UTILIZADA A SEGUINTE EXPRESSÃO:

$$i = \frac{1 + i_b}{1 + i_f} - 1$$

### ‘PAY-BACK’ (PB)

PERÍODO DE RECUPERAÇÃO DO CAPITAL QUE TEM EM CONTA O FACTOR TEMPO – É O TEMPO AO FIM DO QUAL SE ANULA O SOMATÓRIO DO FLUXO DE CAIXA ACTUALIZADO PARA O ANO (0) A UMA TAXA  $i$ .

A **TAXA INTERNA DE RENTABILIDADE** É A TAXA DE ACTUALIZAÇÃO QUE ANULA O SOMATÓRIO DOS 'CASH FLOWS' ACTUALIZADOS PARA UM DETERMINADO ANO (NORMALMENTE O ANO ZERO).

$$\sum_{k=M}^{Nt} \frac{CF_k}{(1 + TIR)^k} = 0$$

$$\sum_{k=M}^{Nt} \frac{CF'_k (s/inv)}{(1 + TIR)^k} - \sum_{k=M}^{Nt} \frac{Inv_k}{(1 + TIR)^k} + \frac{VR}{(1 + TIR)^{Nt}} = 0$$

**VR – VALOR RESIDUAL** OU **VALOR DE SUCATA** É O QUANTITATIVO QUE SE ATRIBUI À INSTALAÇÃO NO ANO FINAL (Nt) DA SUA VIDA ÚTIL.

- EXISTE UMA RELAÇÃO ENTRE A **TIR** E A **RM** PARA UMA DETERMINADA VIDA ÚTIL ( $V_U$ ).

## ANUIDADES

- SÃO UMA SÉRIE DE PAGAMENTOS IGUAIS QUE OCORREM NUM DETERMINADO INTERVALO DE TEMPO

EX:

- PAGAMENTOS DE UMA DÍVIDA
- ACUMULAÇÃO DE UMA DETERMINADA QUANTIDADE DE CAPITAL (POUPANÇA HABITAÇÃO)
- CÁLCULOS DE DEPRECIAÇÃO DE EQUIPAMENTO

## $R_E$ – ANUIDADE ORDINÁRIA

- PAGAMENTO QUE OCORRE NO FIM DE CADA PERÍODO
- SOBRE AS ANUIDADES DEVIDAS. NORMALMENTE PAGAM-SE TAXAS (JUROS)

## PRAZO

- É O TEMPO QUE DECORRE ENTRE O INÍCIO DO PAGAMENTO DA PRIMEIRA ANUIDADE E O FIM DO PAGAMENTO TOTAL.

## S – QUANTIA GLOBAL DAS ANUIDADES

- É A SOMA DE TODAS AS ANUIDADES. INCLUINDO AS TAXAS DEVIDAS.

SENDO A ANUIDADE ( $R$ ), O VALOR UNIFORME PAGO DURANTE  $n$  PERÍODOS DISCRETOS:

$$S = R \frac{(1+i)^n - 1}{i}$$

A PARCELA  $\frac{(1+i)^n - 1}{i}$  É DENOMINADA POR

FACTOR DE ACTUALIZAÇÃO (RECUPERAÇÃO) DE ANUIDADES DISCRETAS UNIFORMES.

## P – VALOR PRESENTE GLOBAL DAS ANUIDADES

- É O CAPITAL QUE DEVERÁ SER INVESTIDO NO TEMPO PRESENTE À TAXA  $i$ . PARA PRODUZIR A QUANTIA TOTAL DAS ANUIDADES NO FIM DO PRAZO.

COMO  $VF = VA (1 + i)^n$

$$P = \frac{S}{(1+i)^n} = \frac{R (1+i)^n - 1}{i} \frac{1}{(1+i)^n}$$

$$\frac{i (1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

DENOMINA-SE **FACTOR DE RECUPERAÇÃO DO CAPITAL (FRC)**

## K - CUSTOS CAPITALIZADOS

- NOÇÃO MUITO ÚTIL PARA COMPARAR ALTERNATIVAS.
- OS CUSTOS CAPITALIZADOS REFERENTES A UM DETERMINADO INVESTIMENTO CORRESPONDEM AO INVESTIMENTO INICIAL QUE DEVEMOS TER PARA INICIAR O PROJECTO E SIMULTANEAMENTE PARA PROVIDENCIAR FUNDOS PARA ACUMULAÇÃO DE MODO A PERMITIR A **SUBSTITUIÇÃO PERPÉTUA DO EQUIPAMENTO**.
- OCORRENDO PERPETUALIDADE DO EQUIPAMENTO, A QUANTIDADE ACUMULADA ( **S** ) DEPOIS DE ( **n** ) PERÍODOS, MENOS OS CUSTOS DE REPOSIÇÃO. DEVERÁ SER IGUAL AO VALOR PRESENTE **P**.

$$P = S - C_R$$

COMO

$$S = P (1 + i)^n$$

$$P = \frac{C_R}{(1 + i)^n - 1}$$



ENTÃO. OS CUSTOS CAPITALIZADOS  $K$ . SERÃO A SOMA DOS CUSTOS ORIGINAIS  $C_V$  E DO VALOR PRESENTE.  $P$ . PARA PROVIDENCIAR A PERPETUIDADE

$$K = C_V + \frac{C_R}{(1+i)^n - 1}$$

COMO OS CUSTOS ORIGINAIS  $C_V$  REPRESENTAM OS CUSTOS DE REPOSIÇÃO (SUBSTITUIÇÃO)  $C_R$  MAIS O VALOR RESIDUAL  $V_R$ .

$$K = C_V + \frac{C_R}{(1+i)^n - 1} = \frac{C_R (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} + V_R$$

A PARCELA  $\frac{(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$  É O FACTOR DE RECUPERAÇÃO DE CUSTOS CAPITALIZADOS À TAXA  $i$ .

## PREÇOS DE EQUIPAMENTO

- NORMALMENTE O PREÇO DE PEÇAS DE EQUIPAMENTO VARIA COM A CAPACIDADE (OU OUTRA VARIÁVEL QUE COM ELA ESTEJA RELACIONADA) DE ACORDO COM:

$$\text{PREÇO}_{EQ} = k C^{\alpha}$$

- $k$  e  $\alpha$  SÃO CONSTANTES QUE DEPENDEM DE CADA TIPO DE EQUIPAMENTO OU SERÃO DETERMINADAS A PARTIR DE CURVAS DE PREÇOS EM FUNÇÃO DO PARÂMETRO CAPACIDADE.

NÃO HAVENDO A POSSIBILIDADE DE ENCONTRAR OS VALORES DE ( $k$ ) e ( $\alpha$ ) É ACEITÁVEL UTILIZAR  $\alpha = 0,6$ .

$$\frac{P_i}{P_1} = \left( \frac{C_i}{C_1} \right)^{\alpha}$$

**TABLE 5**  
**Typical exponents for equipment cost vs. capacity**

Equipment	Size range	Exponent
Blender, double cone rotary, c.s.	50–250 ft <sup>3</sup>	0.49
Blower, centrifugal	10 <sup>3</sup> –10 <sup>4</sup> ft <sup>3</sup> /min	0.59
Centrifuge, solid bowl, c.s.	10–10 <sup>2</sup> hp drive	0.67
Crystallizer, vacuum batch, c.s.	500–7000 ft <sup>3</sup>	0.37
Compressor, reciprocating, air cooled, two-stage, 150 psi discharge	10–400 ft <sup>3</sup> /min	0.69
Compressor, rotary, single-stage, sliding vane, 150 psi discharge	10 <sup>2</sup> –10 <sup>3</sup> ft <sup>3</sup> /min	0.79
Dryer, drum, single vacuum	10–10 <sup>2</sup> ft <sup>2</sup>	0.76
Dryer, drum, single atmospheric	10–10 <sup>2</sup> ft <sup>2</sup>	0.40
Evaporator (installed), horizontal tank	10 <sup>2</sup> –10 <sup>4</sup> ft <sup>2</sup>	0.54
Fan, centrifugal	10 <sup>3</sup> –10 <sup>4</sup> ft <sup>3</sup> /min	0.44
Fan, centrifugal	2 × 10 <sup>4</sup> –7 × 10 <sup>4</sup> ft <sup>3</sup> /min	1.17
Heat exchanger, shell and tube, floating head, c.s.	100–400 ft <sup>2</sup>	0.60
Heat exchanger, shell and tube, fixed sheet, c.s.	100–400 ft <sup>2</sup>	0.44
Kettle, cast iron, jacketed	250–800 gal	0.27
Kettle, glass lined, jacketed	200–800 gal	0.31
Motor, squirrel cage, induction, 440 volts, explosion proof	5–20 hp	0.69
Motor, squirrel cage, induction, 440 volts, explosion proof	20–200 hp	0.99
Pump, reciprocating, horizontal cast iron (includes motor)	2–100 gpm	0.34
Pump, centrifugal, horizontal, cast steel (includes motor)	10 <sup>4</sup> –10 <sup>5</sup> gpm × psi	0.33
Reactor, glass lined, jacketed (without drive)	50–600 gal	0.54
Reactor, s.s, 300 psi	10 <sup>2</sup> –10 <sup>3</sup> gal	0.56
Separator, centrifugal, c.s.	50–250 ft <sup>3</sup>	0.49
Tank, flat head, c.s.	10 <sup>2</sup> –10 <sup>4</sup> gal	0.57
Tank, c.s., glass lined	10 <sup>2</sup> –10 <sup>3</sup> gal	0.49
Tower, c.s.	10 <sup>3</sup> –2 × 10 <sup>6</sup> lb	0.62
Tray, bubble cup, c.s.	3–10 ft diameter	1.20
Tray, sieve, c.s.	3–10 ft diameter	0.86

TABLA II.5. Valores del exponente  $b$  para aparatos químicos.

Clase de aparato (y parámetro funcional)	Tipo	Exponente $b$
Aspiradoras gas (caudal) .....	— Centrífugas .....	0,87
	— De hélice .....	0,87
Bombas (caudal) .....	— De vacío .....	0,41
	— De émbolo .....	0,60
	— Centrífugas .....	0,52-0,76
	— Rotatorias .....	0,60-0,70
	— De diafragma .....	0,50-0,65
Cambiadores de calor (superficie de calefacción) .....	— De doble tubo .....	0,56
	— De tubos y carcasa (extremo flotante) .....	0,60
Cambiadores de ion (volumen) ...	—	0,70-0,80
Colectores de polvo (caudal) .....	— Ciclones sencillos y múltiples .....	0,84
	— Separadores de paletas (clasificadores) .....	0,84
	— Electrostáticos .....	0,77-0,98
Compresores (caudal) .....	— De uno o más efectos .....	0,73
Cristalizadores (volumen) .....	— Discontinuos y a vacío .....	0,40-0,60
	— Swenson-Walker .....	0,80-0,85
Depósitos (volumen) .....	— Cilíndricos, pequeños (3-10 at) .....	0,40
	— Esféricos (3-12 at) .....	0,65
	— Gasómetros .....	0,60
	— Cilíndricos, gran tamaño .....	0,66
Desintegradores mecánicos (potencia y capacidad de producción) .....	— Machacadoras y trituradoras ...	0,57-0,78
	— Molinos de bolas y tubulares ...	0,60-0,72
	— Pulverizadores (para fino) .....	0,70-0,80
Espesadores (Sedimentadores) (superficie libre) .....	— Aparatos continuos .....	0,30-0,72
Evaporadores (superficie de calefacción) .....	— De tubos horizontales .....	0,51
	— De tubos verticales largos .....	0,51-0,70
	— Simple, encamisado .....	0,47
Filtros (superficie de filtración) ...	— Cualquier tipo .....	0,58-0,66
Hidroextractores y centrifugas (diámetro de cesta) .....	—	1,0
Mescladoras (volumen y potencia) .....	—	0,35-0,70
Secaderos: superficie de carga (1); superficie exterior (2); $\text{kgH}_2\text{O}$ evap./hora (3) .....	— De bandejas (1) .....	0,54
	— Rotatorios (2) .....	0,90
	— De pulverización (3) .....	0,21
Soplantes (caudal) .....	— Turbo y centrífugas .....	0,60
	— Rotatorios (Root) .....	0,30-0,60
Tamizadoras (superficie de tamizado) .....	— De una o varias telas en serie .....	0,28-0,80
Torres (diámetro) .....	— De borboteo (platinos) .....	0,72-1,20
	— De relleno .....	0,58-1,10
Transportadores y elevadores (longitud o distancia) .....	— De cinta .....	0,53-0,87
	— Sin fin .....	0,47-0,89
	— De cangilones .....	0,45-0,85

PRONOSTICO ECONOMICO. 5

# REGRAS BASEADAS NA EXPERIÊNCIA

542 PLANT DESIGN AND ECONOMICS FOR CHEMICAL ENGINEERS

Peters &amp; Timmerhaus

**TABLE 6**  
**Rules of thumb for use in preliminary estimates of costs for pressure vessels**

Costs for vessel (January, 1990—Including nozzles, manholes, and saddle or skirt but no special internals such as trays or agitators) as dollars per pound of weight of fabricated unit f.o.b. with carbon steel as the cost basis =  $80(W_v)^{-0.34}$  where  $W_v$  is the total weight in pounds (applicable in  $W_v$  range of 800 lb to 100,000 lb).

To account for the extra weight due to nozzles, manholes, and skirts or saddles, increase the weight calculated for the smooth vessel including top and bottom by 15% for vessels to be installed in a horizontal position and by 20% for vessels to be installed in a vertical position.

Steel density can be taken as 489 lb/ft<sup>3</sup> or 0.283 lb/in<sup>3</sup>.

Cost factors to convert from carbon steel as the material of construction for the fabricated unit follow:

Shell-material cost factors	
Carbon steel	1.0 (basis)
Stainless steel 304	2.0 to 3.5
Stainless steel 316	2.3 to 4.3
Monel	4.5 to 9.8
Titanium	4.9 to 10.6

Cost factors to convert from an internal pressure of up to 50 psig  
for carbon steel at temperatures below 800°F†

Pressure	Pressure factor	Pressure	Pressure factor
up to 50 psig	1.0 (basis)	800 psig	3.8
100	1.3	900	4.0
200	1.6	1000	4.2
300	2.0	1500	5.4
400	2.4	2000	6.5
500	2.8	3000	8.8
600	3.0	4000	11.3
700	3.3	5000	13.8

In general, the minimum wall thickness, not including allowances for corrosion, for any plate subject to pressure should not be less than  $\frac{3}{32}$  in. for welded or brazed construction and not be less than  $\frac{3}{16}$  in. for riveted construction except that the thickness of walls for unfired steam boilers should not be less than  $\frac{1}{4}$  in.

A corrosion allowance of 0.010 to 0.015 in./yr, or about  $\frac{1}{8}$  in. for a 10-year life is a reasonable value.

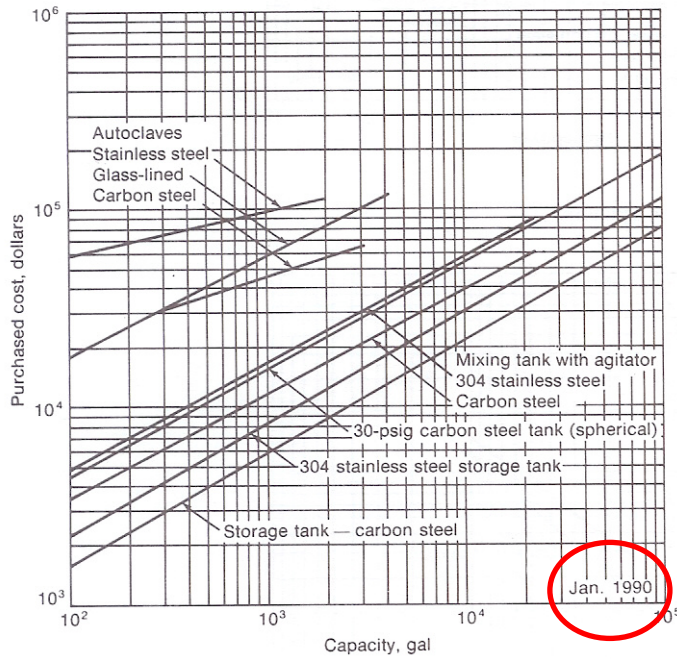
For high-pressure vessels, hemispherical heads are usually the most economical.

Lang factors to convert from the base cost of the delivered vessel (costed as if it were of carbon-steel material of construction so that weight becomes the primary measure of installation cost) to the cost of the vessel installed with all necessary auxiliaries except special internals such as trays or agitators are 3.0 for vessels installed in a horizontal position and 4.0 for vessels installed in a vertical position.

†If the data are available, it is much better to use the design equations presented in Table 4 of this chapter to obtain necessary wall thickness based on the stress value at the operating temperature in place of using the given pressure factors since there is a critical interrelationship among material of construction, operating pressure, and operating temperature in establishing the design and cost of pressure vessels.

<http://www.cheresources.com/exprules.shtml> - Experienced-Based Rules of Chemical Engineering

“RULES of THUMB for CHEM. ENG.” C. BRANAN, 3<sup>rd</sup> Ed., 2002



Peters & Timmerhaus

1 gal = 3,785 L

**FIGURE 14-56**  
Cost of mixing, storage, and pressure tanks. Price for the mixing tank includes unit.

MATERIALS TRANSFER, HANDLING, AND TREATMENT EQUIPMENT 541

**TABLE 5**  
**Approximate costs of small containers for chemical products (Jan., 1990)**

Container size, description	Unit cost	Usable volume, ft <sup>3</sup>
55-gal steel drum, new	\$ 24.30	7.35
55-gal steel drum, used, cleaned	13.60	7.35
55-gal aluminum drum	112.00	7.35
55-gal type 304 stainless steel drum	297.00	7.35
30-gal steel drum	16.2	4.00
16-gal steel drum	3.3	2.14
61-gal fiber drum, dry products only	10.9	8.15
55-gal fiber drum, dry products only	9.9	7.35
47-gal fiber drum, dry products only	9.7	6.28
41-gal fiber drum, dry products only	9.2	5.48
30-gal fiber drum, dry products only	7.8	4.00
15-gal fiber drum, dry products only	3.4	2.00
Multiwall paper bags, polyethylene film	0.44–0.50	1.33
Corrugated cartons, 24 × 16 × 6 in.	0.89	1.33
1-gal glass jug, plastic cap	1.09	0.1335
1-gal polyethylene jar or bottle	0.52	0.1335
1-qt glass jar, plastic cap	0.45	0.034
1-qt polyethylene bottle	0.24	0.034
Pallets, expendable, 40 × 48 in. to 44 × 50 in.	7.46–13.60	
Pallets, warehouse type, 40 × 48 in. to 44 × 50 in.	15.00–20.90	

Peters & Timmerhaus

## ACTUALIZAÇÃO DE PREÇOS

### ÍNDICE DE PREÇOS

- **ÍNDICE DE ACTUALIZAÇÃO DE PREÇOS** - SÃO FACTORES QUE RELACIONAM OS PREÇOS NUM DADO ANO COM OS PREÇOS NO ANO QUE SE PRETENDE ESTUDAR.
- TOMANDO UM DETERMINADO ANO PARA BASE. EM QUE O ÍNDICE DE ACTUALIZAÇÃO DE PREÇOS É IGUAL A 100. O ÍNDICE DE ACTUALIZAÇÃO DE PREÇOS SERÁ:

$$\frac{I_x}{I_{base}} = \frac{\text{CUSTO NO ANO X}}{\text{CUSTO NO ANO base}}$$

- ASSIM, SE SOBERMOS O PREÇO DE UMA DETERMINADA PEÇA DE EQUIPAMENTO OU PRODUTO NUM DETERMINADO ANO, PARA SABERMOS O PREÇO EM 2006, TEREMOS:

$$C_{2006} = C_A \frac{I_{2006}}{I_A}$$

- EM QUE  $I_{2006}$  E  $I_A$  TERÃO QUE ESTAR REFERIDOS À MESMA BASE
- EXISTEM ÍNDICES DE ACTUALIZAÇÃO DE PREÇOS PARA VÁRIAS BASES E PUBLICADOS POR DIVERSAS REFERÊNCIAS:
- MARSHALL and STEVENS
- ENGINEERING NEWS RECORD
- CHEMICAL ENGINEERING
- ETC



**TABLE 3**  
**Cost indexes as annual averages**

Year	Marshall and Swift installed-equipment indexes, 1926 = 100		Eng. News-Record construction index			Nelson-Farrar refinery construction index, 1946 = 100	Chemical engineering plant cost index 1957-1959 = 100
	All- industry	Process- industry	1913 = 100	1949 = 100	1967 = 100		
1975	444	452	2412	464	207	576	182
1976	472	479	2401	503	224	616	192
1977	505	514	2576	540	241	653	204
1978	545	552	2776	582	259	701	219
1979	599	607	3003	630	281	757	239
1980	560	675	3237	679	303	823	261
1981	721	745	3535	741	330	904	297
1982	746	774	3825	802	357	977	314
1983	761	786	4066	852	380	1026	317
1984	780	806	4146	869	387	1061	323
1985	790	813	4195	879	392	1074	325
1986	798	817	4295	900	401	1090	318
1987	814	830	4406	924	412	1122	324
1988	852	870	4519	947	422	1165	343
1989	895	914	4606	965	429	1194	355
1990 (Jan.)	904†	924	4673	979	435	1203	356

† All costs presented in this text are based on this value of the Marshall and Swift index unless otherwise indicated.

Peters & Timmerhaus

**Economic Indicators**

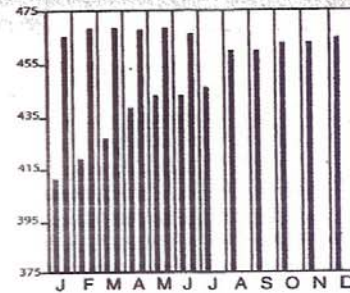
2004 2005

DOWNLOAD THE CEPCI TWO WEEKS SOONER AT [WWW.CHE.COM/PINDEX](http://WWW.CHE.COM/PINDEX)

**CHEMICAL ENGINEERING PLANT COST INDEX (CEPCI)**

(1957-59 = 100)

	June '05*	May '05*	June '04	Annual Index
	Prelim.	Final	Final	
<b>CE INDEX</b>	466.2	468.3	442.6	<b>1997 = 386.5</b>
Equipment	541.3	544.1	506.8	<b>1998 = 389.5</b>
Heat exchangers & tanks	511.9	515.9	460.0	<b>1999 = 390.6</b>
Process machinery	517.4	519.7	490.4	<b>2000 = 394.1</b>
Pipe, valves & fittings	619.8	622.3	600.7	<b>2001 = 394.3</b>
Process instruments	377.9	379.5	377.9	<b>2002 = 395.6</b>
Pumps & compressors	753.5	754.9	714.9	<b>2003 = 402.0</b>
Electrical equipment	370.5	368.8	351.8	<b>2004 = 444.2</b>
Structural supports & misc	583.6	588.8	531.6	
Construction labor	304.2	304.6	306.1	
Buildings	440.7	442.5	431.5	
Engineering & supervision	348.3	348.2	345.6	



**\*UPDATED IDS FOR CE'S PLANT COST INDEX**

Since the most recent overhaul of CE's Plant Cost Index (CEPCI) in 2002 (see Updating the CE Plant Cost Index, CE, Jan. 2002, pp. 62-70), the Bureau of Labor Statistics (BLS) has either discontinued or converted many of the Producer Price Indexes (PPI's) that are key inputs to the CEPCI. As a result, substitute PPI inputs had to be found. For instance, back in 2004, the BLS discontinued the Standard Industrial Classification (SIC) to the North American Industrial Classification System (NAICS), so adjustments to the CEPCI were subsequently made.

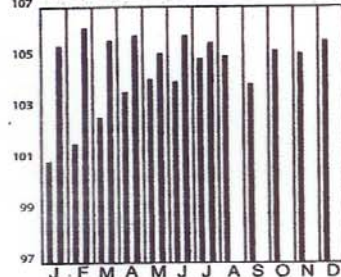
Now, in the numbers that appear in this month's issue, several more IDs have been replaced. The old and new BLS IDs appear below.

Old ID	New ID
wpu10170628	wpu101706
wpu10170618	wpu101706
wpu10170629	wpu101706
wpu10170711	wpu101707
wpu114103	wpu1141

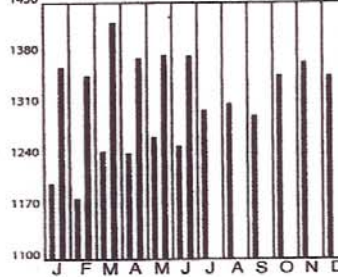
**CURRENT BUSINESS INDICATORS**

	LATEST		PREVIOUS		YEAR AGO	
CPI output index (1997 = 100)*	Jul.'05 = 105.6	Jun.'05 = 105.6	May.'05 = 106.2	Jul.'04 = 105.0		
CPI value of output, \$ billions	Jun.'05 = 1,377.6	May.'05 = 1,378.9	Apr.'05 = 1,374.8	Jun.'04 = 1,255.2		
CPI operating rate, %	Jul.'05 = 80.6	Jun.'05 = 80.8	May.'05 = 80.4	Jul.'04 = 80.7		
Construction cost index (1967 = 100)	Aug.'05 = 696.2	Jul.'05 = 690.9	Jun.'05 = 690.3	Aug.'04 = 669.1		
Producer prices, industrial chemicals (1982 = 100)	Jul.'05 = 179.3	Jun.'05 = 179.8	May.'05 = 182.6	Jul.'04 = 161.4		
Index of industrial activity (1992 = 100)	Aug. 13, '05 = 250.9	Aug. 6, '05 = 251.1	Jul. 30, '05 = 251.9	Aug. 14, '04 = 224.4		
Hourly earnings index, chemical & allied products (1992 = 100)	Jul.'05 = 145.4	Jun.'05 = 143.1	May.'05 = 143.9	Jul.'04 = 140.9		
Productivity index, chemicals & allied products (1992 = 100)	Jul.'05 = 134.6	Jun.'05 = 134.1	May.'05 = 132.7	Jul.'04 = 126.8		

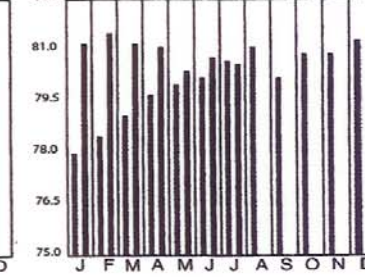
**CPI OUTPUT INDEX (1997 = 100)**



**CPI OUTPUT VALUE (\$ Billions)**



**CPI OPERATING RATE (%)**



\*To convert to 1992, multiply by 1.1514684. To convert to 1987, multiply by 1.2495478. For an explanation and additional information, call 212-621-4612. Current business indicators provided by DRI-WEFA, Lexington, Mass.

**VATAVUK AIR POLLUTION CONTROL COST INDEXES (VAPCCI) (1st Quarter 1994 = 100.0)**

CONTROL DEVICE <sup>3</sup>	2004 Avg.	2003 Avg. <sup>1</sup>	2002 Avg.	4th Q 2004	1st Q 2005	2nd Q 2005 <sup>2</sup>	2004 Avg.	2003 Avg. <sup>1</sup>	2002 Avg.	4th Q 2004	1st Q 2005	2nd Q 2005 <sup>2</sup>
Carbon adsorbers	135.9	113.0	106.8	145.8	148.4	147.5	119.6	108.8	106.6	125.0	127.7	128.2
Catalytic incinerators	148.6	124.0	114.5	158.0	164.0	164.1	124.0	113.9	111.9	128.7	131.1	131.6
Electrostatic precipitators	124.0	102.9	101.7	133.9	135.2	132.2	121.9	110.0	108.6	128.0	131.7	132.2
Flares	134.2	105.2	101.7	148.0	151.0	150.3	144.0	120.1	113.2	154.8	157.4	157.2
Gas absorbers	121.8	117.3	115.6	124.5	126.4	127.2						
Refrigeration systems												
Regenerative thermal oxidizers												
Thermal incinerators												
Wet scrubbers												

1. Effective fourth quarter 2003, the Bureau of Labor Statistics (BLS) converted all of the Producer Price Indexes (PPI's) from the Standard Industrial Classification (SIC) to the North American Industrial Classification System (NAICS). During this conversion, many PPI's were abolished — among them most of the PPI's that had been key inputs to the VAPCCI's. As a consequence, substitute PPI inputs had to be found. The VAPCCI's for fourth quarter 2003 and subsequent quarters reflect these substitutions.  
2. All second quarter 2005 indexes are preliminary.

## CRITÉRIOS DE OPTIMIZAÇÃO

- RENTABILIDADE INTERNA (TIR)
- VALOR LÍQUIDO ACTUAL (VAL, VLA)
- RENTABILIDADE MÉDIA (RM)
- CUSTO MÍNIMO (CM)
- RENTABILIDADE DIFERENCIAL (RD)
- VALOR ACTUAL LÍQUIDO RELATIVO AO INVESTIMENTO (VALI)

## RENTABILIDADE INTERNA

## VALOR LÍQUIDO ACTUAL

- PRETENDE-SE QUE SEJAM MÁXIMOS.
- SÃO OS CRITÉRIOS MAIS CORRECTOS.
- COMO DEPENDEM DO CASH FLOW. É NECESSÁRIO CONHECER OS **PREÇOS DAS MATÉRIAS-PRIMAS E DOS PRODUTOS PRODUZIDOS.**
- QUANDO QUALQUER DELES OU AMBOS SÃO DESCONHECIDOS, POR SE TRATAR NOMEADAMENTE DE MATÉRIAS-PRIMAS OU PRODUTOS INTERMÉDIOS, OU PODERMOS ESTAR A TRATAR APENAS DE UNIDADES INTERMÉDIAS, NÃO É POSSÍVEL UTILIZAR QUALQUER DESTES CRITÉRIOS.

## RENTABILIDADE MÉDIA

- PRETENDE-SE QUE SEJA MÁXIMA.
- É MAIS SIMPLES DE CALCULAR QUE A ANTERIOR
- EXISTE UMA RELAÇÃO BIUNÍVOCA ENTRE **TIR** E **RM** EM CONDIÇÕES NORMAIS DE INVESTIMENTO. FUNÇÃO DO NÚMERO DE ANOS DO PROJECTO.

$$\text{TIR} = f(\text{RM}, V_U)$$

EX :      PARA  $V_U = 10$  ANOS       $\left[ \begin{array}{l} \text{TIR} = 15 \% \\ \text{RM} = 10 \% \end{array} \right.$

- SE EXISTIREM **ATRASOS NO INVESTIMENTO** POR VÁRIOS ANOS, OU **GRANDES REPARAÇÕES** ESTA RELAÇÃO JÁ NÃO É VÁLIDA E A TIR É, POR VEZES, BASTANTE INFERIOR ÀQUELA QUE SERIA CALCULADA PELA RELAÇÃO.

- COMO TIR E RM VARIAM NO MESMO SENTIDO, SE OS CASH FLOWS FOSSEM IGUAIS DURANTE TODA A VIDA ÚTIL DO EQUIPAMENTO, OS VALORES ÓPTIMOS CONCIDIAM QUER SE USASSE A TIR OU A RM COMO CRITÉRIOS DE OPTIMIZAÇÃO.
- A RM É IGUALMENTE IMPOSSÍVEL DE CALCULAR SE NÃO FOREM CONHECIDOS OS PREÇOS DAS MATÉRIAS-PRIMAS E/OU DOS PRODUTOS.

Rentabilidade Media vs. Rentabilidade Interna

Vida Util =>	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Rent.Int.	Rentabilidade Media																		
5.0	3.4	3.2	3.1	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	2.9	2.9	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
6.0	4.1	3.9	3.7	3.7	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7
7.0	4.8	4.5	4.4	4.3	4.3	4.2	4.2	4.2	4.2	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4
8.0	5.5	5.2	5.0	5.0	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	5.0	5.0	5.0	5.0	5.1	5.1	5.1	5.1	5.2
9.0	6.2	5.9	5.7	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.7	5.7	5.7	5.7	5.8	5.8	5.8	5.8	6.0
10.0	6.9	6.5	6.4	6.3	6.3	6.2	6.3	6.3	6.3	6.3	6.4	6.4	6.5	6.5	6.6	6.6	6.7	6.7	6.7
11.0	7.6	7.2	7.1	7.0	6.9	6.9	6.9	7.0	7.0	7.1	7.1	7.2	7.2	7.3	7.4	7.4	7.5	7.6	7.6
12.0	8.3	7.9	7.7	7.7	7.6	7.6	7.7	7.7	7.8	7.8	7.9	7.9	8.0	8.1	8.2	8.2	8.3	8.4	8.4
13.0	9.0	8.6	8.4	8.3	8.3	8.3	8.4	8.4	8.5	8.6	8.6	8.7	8.8	8.9	9.0	9.1	9.2	9.2	9.2
14.0	9.7	9.3	9.1	9.0	9.0	9.1	9.1	9.2	9.2	9.3	9.4	9.5	9.6	9.7	9.8	9.9	10.0	10.1	10.1
15.0	10.5	10.0	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.9	10.0	10.1	10.2	10.3	10.4	10.5	10.7	10.8	10.9	11.0	11.0
16.0	11.2	10.7	10.5	10.5	10.5	10.5	10.6	10.7	10.8	10.9	11.0	11.1	11.3	11.4	11.5	11.6	11.8	11.9	11.9
17.0	11.9	11.5	11.3	11.2	11.2	11.3	11.4	11.5	11.6	11.7	11.8	12.0	12.1	12.3	12.4	12.5	12.6	12.8	12.8
18.0	12.7	12.2	12.0	11.9	12.0	12.0	12.1	12.3	12.4	12.5	12.7	12.8	13.0	13.1	13.3	13.4	13.5	13.7	13.7
19.0	13.4	12.9	12.7	12.7	12.7	12.8	12.9	13.0	13.2	13.4	13.5	13.7	13.8	14.0	14.2	14.3	14.5	14.6	14.6
20.0	14.1	13.6	13.4	13.4	13.5	13.6	13.7	13.9	14.0	14.2	14.4	14.5	14.7	14.9	15.1	15.2	15.4	15.5	15.5
21.0	14.9	14.4	14.2	14.2	14.3	14.3	14.5	14.7	14.9	15.0	15.2	15.4	15.6	15.8	16.0	16.1	16.3	16.5	16.5
22.0	15.6	15.1	14.9	14.9	15.0	15.1	15.3	15.5	15.7	15.9	16.1	16.3	16.5	16.7	16.9	17.1	17.3	17.4	17.4
23.0	16.4	15.8	15.7	15.7	15.8	15.9	16.1	16.3	16.5	16.8	17.0	17.2	17.4	17.6	17.8	18.0	18.2	18.4	18.4
24.0	17.1	16.6	16.4	16.4	16.6	16.7	16.9	17.2	17.4	17.6	17.9	18.1	18.3	18.5	18.8	19.0	19.1	19.3	19.3
25.0	17.9	17.3	17.2	17.2	17.3	17.5	17.8	18.0	18.3	18.5	18.8	19.0	19.2	19.5	19.7	19.9	20.1	20.3	20.3
26.0	18.7	18.1	17.9	18.0	18.1	18.4	18.6	18.9	19.1	19.4	19.7	19.9	20.2	20.4	20.6	20.9	21.1	21.3	21.3
27.0	19.4	18.9	18.7	18.8	19.0	19.2	19.4	19.7	20.0	20.3	20.6	20.8	21.1	21.4	21.6	21.8	22.0	22.2	22.2
28.0	20.2	19.6	19.5	19.6	19.8	20.0	20.3	20.6	20.9	21.2	21.5	21.8	22.0	22.3	22.5	22.8	23.0	23.2	23.2
29.0	21.0	20.4	20.3	20.4	20.6	20.8	21.2	21.5	21.8	22.1	22.4	22.7	23.0	23.3	23.5	23.7	24.0	24.2	24.2
30.0	21.7	21.2	21.1	21.2	21.4	21.7	22.0	22.3	22.7	23.0	23.3	23.6	23.9	24.2	24.5	24.7	24.9	25.2	25.2
31.0	22.5	21.9	21.8	22.0	22.2	22.5	22.9	23.2	23.6	23.9	24.3	24.6	24.9	25.2	25.4	25.7	25.9	26.1	26.1
32.0	23.3	22.7	22.6	22.8	23.1	23.4	23.8	24.1	24.5	24.9	25.2	25.5	25.8	26.1	26.4	26.7	26.9	27.1	27.1
33.0	24.1	23.5	23.4	23.6	23.9	24.3	24.6	25.0	25.4	25.8	26.1	26.5	26.8	27.1	27.4	27.6	27.9	28.1	28.1
34.0	24.8	24.3	24.2	24.4	24.7	25.1	25.5	25.9	26.3	26.7	27.1	27.4	27.8	28.1	28.4	28.6	28.9	29.1	29.1
35.0	25.6	25.1	25.0	25.3	25.6	26.0	26.4	26.8	27.2	27.6	28.0	28.4	28.7	29.0	29.3	29.6	29.9	30.1	30.1
36.0	26.4	25.9	25.9	26.1	26.4	26.9	27.3	27.7	28.2	28.6	29.0	29.3	29.7	30.0	30.3	30.6	30.8	31.1	31.1
37.0	27.2	26.7	26.7	26.9	27.3	27.7	28.2	28.7	29.1	29.5	29.9	30.3	30.7	31.0	31.3	31.6	31.8	32.1	32.1
38.0	28.0	27.5	27.5	27.8	28.2	28.6	29.1	29.6	30.0	30.5	30.9	31.3	31.6	32.0	32.3	32.6	32.8	33.1	33.1
39.0	28.8	28.3	28.3	28.6	29.0	29.5	30.0	30.5	31.0	31.4	31.9	32.2	32.6	33.0	33.3	33.5	33.8	34.1	34.1
40.0	29.6	29.1	29.1	29.5	29.9	30.4	30.9	31.4	31.9	32.4	32.8	33.2	33.6	33.9	34.2	34.5	34.8	35.0	35.0

## CUSTO MÍNIMO

- COMO CRITÉRIO **SÓ SE APROXIMA DO DA TIR** NO CASO EM QUE **AS VARIAÇÕES** DE INVESTIMENTO COM A VARIÁVEL DE OPTIMIZAÇÃO **NÃO SEJAM SIGNIFICATIVAS**.
- CASO CONTRÁRIO É UM CRITÉRIO VÁLIDO APENAS NUMA PRIMEIRA APROXIMAÇÃO.
- **NÃO ENTRA COM O FACTOR TEMPO**
- O QUE SE FAZ É NÃO UTILIZAR AMORTIZAÇÕES, MAS SIM ANUIDADES APLICADAS AO INVESTIMENTO ( $AN_i$ ) COM O FACTOR DE RECUPERAÇÃO DE CUSTO OU DE CAPITAL:

$$FCR = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

$$AN_i = FCR * INV$$



- SOMANDO AGORA OS CUSTOS ANUAIS DE INVESTIMENTO AOS CUSTOS DE LABORAÇÃO:
  - MATÉRIAS-PRIMAS
  - ENERGIA ELÉCTRICA
  - ÁGUA DE REFRIGERAÇÃO
  - VAPOR
  - MÃO-DE-OBRA
  - MANUTENÇÃO
  - ...
  
- FICAMOS COM O CUSTO TOTAL ANUAL QUE TERÁ QUE SER MÍNIMO

VLA RELATIVO AO INVESTIMENTO

$$VLA_I = \frac{VLA}{INV}$$

CUSTO POR UNIDADE DE PRODUTO  
PRODUZIDO

$$\frac{CT_A}{Q_A}$$

## RENTABILIDADE DIFERENCIAL

- COMO VIMOS. A MANEIRA MAIS SIGNIFICATIVA DE ANALISAR AS CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DE UMA UNIDADE. PERMITINDO PORTANTO A OPTIMIZAÇÃO DESSAS CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO É. DO PONTO DE VISTA ECONÓMICO. MEDIANTE A DETERMINAÇÃO DA TIR OU DO VLA A UMA DETERMINADA TAXA. PARA AS DIFERENTES OPÇÕES TÉCNICAS. PROCURANDO OBTER AS CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO QUE OS MAXIMIZEM.
- A IMPOSSIBILIDADE DE DETERMINAR A TIR OU O VLA QUANDO NÃO DISPOMOS DOS PREÇOS DAS MATÉRIAS-PRIMAS E/OU DOS PRODUTOS (OU DAS SUAS VALORIZAÇÕES. QUANDO SÃO PRODUTOS DE INSTALAÇÕES INTERMÉDIAS. SEM COTAÇÃO NO MERCADO) LEVOU À CRIAÇÃO DE UM CRITÉRIO QUE. MEDIANTE UMA ABORDAGEM DIFERENTE. FOSSE EQUIVALENTE À TIR
- ESSE CRITÉRIO É O DA **RENTABILIDADE**  
**DIFERENCIAL**

VIMOS:

- $TIR \cong 1,5 RM$   $\left[ \begin{array}{l} 3 - 20 \text{ ANOS DE VIDA ÚTIL} \\ TIR \text{ ENTRE } 0 \text{ E } 40 \% \end{array} \right.$
- POR OUTRO LADO. OS CRITÉRIOS DE CUSTO MÍNIMO E MÁXIMA RENTABILIDADE MÉDIA. NÃO CONDUZEM AO MESMO VALOR ÓPTIMO DA VARIÁVEL DE OPTIMIZAÇÃO
- HÁ QUE ANALISAR MUITO BEM A CURVA DE CUSTOS TOTAIS:
  - NA ZONA DOS CUSTOS MÍNIMOS PODERÁ HAVER UMA INDEFINIÇÃO
  - NAS ZONAS À ESQUERDA E À DIREITA DO PONTO A QUE CORRESPONDE O CUSTO MÍNIMO. EMBORA PRÓXIMO. PODERÁ HAVER UM ABAIXAMENTO SIGNIFICATIVO DO INVESTIMENTO QUE NÃO REFLITA UM AUMENTO DRÁSTICO DO CUSTO TOTAL.
  - PORTANTO HÁ QUE ANALISAR MAIS PROFUNDAMENTE ESTES CASOS.

- EM QUE CONSISTE O CRITÉRIO DA RENTABILIDADE DIFERENCIAL?

SABENDO QUE

$$\left| \begin{array}{l} L = V - C \\ RM = \frac{L}{I} \end{array} \right.$$

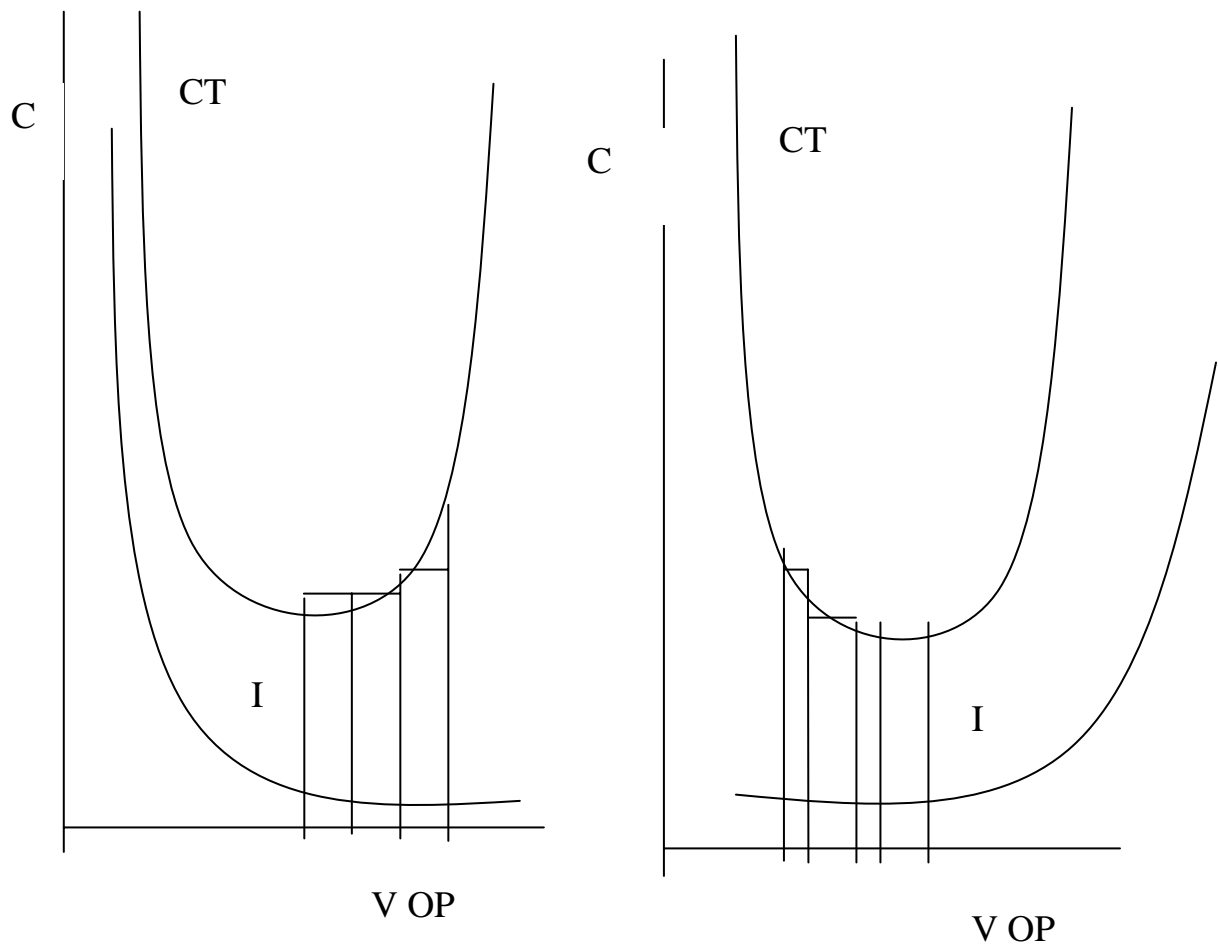
A RENTABILIDADE DIFERENCIAL É, POR DEFINIÇÃO:

$$RD = \frac{\Delta L}{\Delta I}$$

$$\Delta L = \Delta V - \Delta C$$

$$\text{SE } \Delta V = 0 \quad \Delta L = -\Delta C$$

$$RD = \frac{-\Delta C}{\Delta I}$$



- A ANÁLISE DA CURVA TEM INTERESSE SEMPRE NA ZONA EM QUE O CUSTO TOTAL E O INVESTIMENTO TÊM COMPORTAMENTOS OPOSTOS
- A ANÁLISE DEVE PARAR-SE QUANDO A RD TIVER UM VALOR ACEITÁVEL. P. EXº 10 % QUE CORRESPONDE A UMA TIR DE 15 %. QUANTO MAIS BAIXA FOR A TAXA ADMITIDA. MAIS PRÓXIMOS SÃO OS VALORES ÓPTIMOS DETERMINADOS PELOS DOIS MÉTODOS.

- É EVIDENTE QUE EM OPERAÇÕES EM QUE O INVESTIMENTO VARIA POUCO COM A VARIAÇÃO DA VARIÁVEL DE OPTIMIZAÇÃO. ESTE CRITÉRIO NÃO TEM SIGNIFICADO
- POR OUTRO LADO. DEVE UTILIZAR-SE O CRITÉRIO DE RENTABILIDADE DIFERENCIAL SEMPRE COMO COMPLEMENTO DO CRITÉRIO DOS CUSTOS MÍNIMOS. CASO SEJA POSSÍVEL A SUA APLICAÇÃO.
- QUANDO SE USA ESTE CRITÉRIO, OS CUSTO DE EQUIPAMENTO TERÃO SEMPRE QUE SER CALCULADOS A PARTIR DE **AMORTIZAÇÕES** E NUNCA DE ANUIDADES.
- QUANDO SE USA APENAS O **CRITÉRIO DE CUSTOS MÍNIMOS** É MAIS CORRECTO ENTRAR COM AS **ANUIDADES** REFERENTES AOS CUSTO DE EQUIPAMENTO. MAS ISTO É SÓ VÁLIDO PARA SE EFECTUAR A OPTIMIZAÇÃO. **NO FINAL, QUANDO QUEREMOS CALCULAR OS CUSTOS TOTAIS FINAIS, DEVEMOS UTILIZAR AS AMORTIZAÇÕES.**
- PODE USAR-SE UM CRITÉRIO DE **VAL MODIFICADO** EM QUE O VALOR DAS VENDAS É ZERO. NESTE CASO O VAL VEM SEMPRE NEGATIVO. MAS COMO CRITÉRIO DE OPTIMIZAÇÃO É MUITO ACEITÁVEL.

## ANÁLISE DE ALTERNATIVAS

- QUANDO SE PRETENDE EFECTUAR UM INVESTIMENTO HÁ QUE ANALISAS AS VÁRIAS ALTERNATIVAS POSSÍVEIS.
- É EVIDENTE QUE A ESCOLHA RECAIRÁ NA QUE CONDUZIR A:
  - MAIOR RENTABILIDADE
  - MENOR CUSTO
  - MENOR RISCO
- HÁ PORTANTO QUE ANALISAR O PERÍODO DE RECUPERAÇÃO DO CAPITAL
- E EFECTUAR UMA ANÁLISE DE SENSIBILIDADE AOS FACTORES.



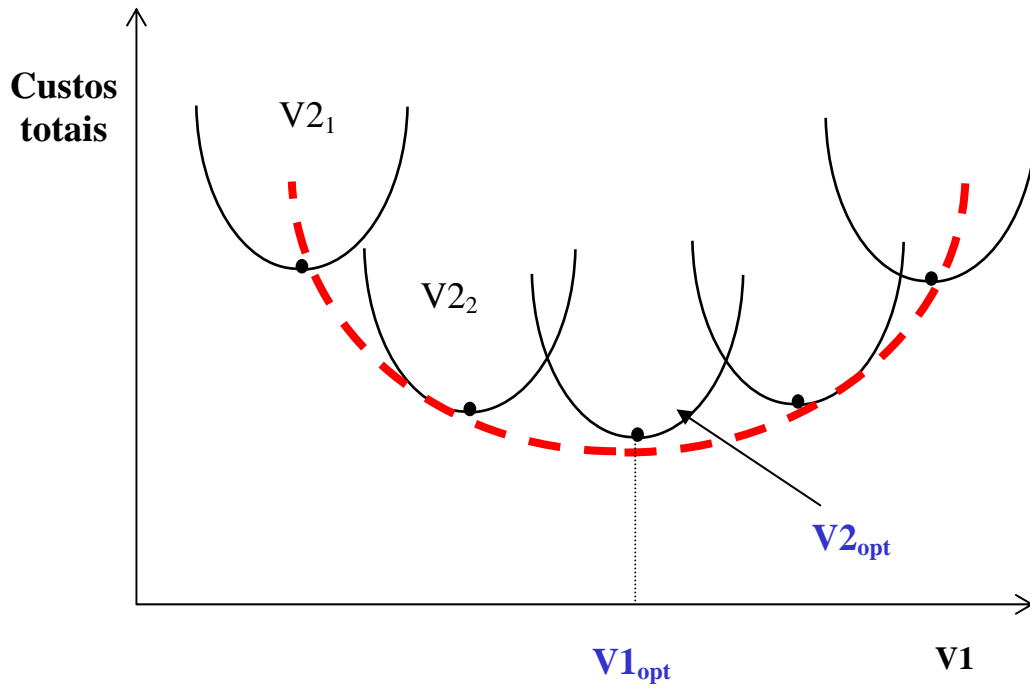
## ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

<b>FACTORES</b>	<p style="text-align: center;"><b>CUSTO DE MATÉRIAS PRIMAS</b></p> <p style="text-align: center;"><b>ENERGIA</b></p> <p style="text-align: center;"><b>CUSTO DE VAPOR</b></p> <p style="text-align: center;"><b>ÁGUA DE REFRIGERAÇÃO</b></p> <p style="text-align: center;"><b>OSCILAÇÕES DE MERCADO</b></p> <p style="text-align: center;"><b>OSCILAÇÕES DE PREÇOS DE VENDA</b></p> <p style="text-align: center;"><b>COTAÇÃO DO DOLAR</b></p> <p style="text-align: center;"><b>ETC</b></p>
-----------------	---

- NORMALMENTE A ANÁLISE DE SENSIBILIDADE EFECTUA-SE FAZENDO OSCILAR DE  $\pm 20\%$  OS VALORES DOS VÁRIOS FACTORES OBTIDOS QUANDO SE EFECTUOU O PROJECTO
- VERIFICA-SE DE SEGUIDA COMO É QUE ESSAS OSCILAÇÕES INFLUENCIAM O CUSTO E/OU A RENTABILIDADE OU O VAL E TAMBÉM O VALOR ÓPTIMO PARA A (S) VARIÁVEL (VEIS) DE OPTIMIZAÇÃO.

## OPTIMIZAÇÃO A 2 OU + VARIÁVEIS

- É CLARO QUE SEMPRE QUE POSSÍVEL SE USAM AS TÉCNICAS REFERIDAS NA 1ª PARTE DA DISCIPLINA. COMO O RSM. YATES. TAGUSHI.
- VAMOS ABORDAR AQUI O MÉTODO MAIS CLÁSSICO. QUE CONSISTE EM **PARAMETRIZAR** O PROBLEMA. OPTIMIZANDO UMA VARIÁVEL DE CADA VEZ.
- FIXAM-SE VALORES DE VARIÁVEIS (PARÂMETROS) E OPTIMIZA-SE EM RELAÇÃO A UMA DELAS. OS ÓPTIMOS ENCONTRADOS SERÃO. POR SUA VEZ. OPTIMIZADOS.
- A HIERARQUIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS DEVERÁ EFECTUAR-SE EM FUNÇÃO DAS OSCILAÇÕES DOS CUSTOS OU DE QUALQUER DAS OUTRAS FUNÇÕES OBJECTIVO.



**SERÁ, PORTANTO, O ÓPTIMO DOS ÓPTIMOS**

# INSTALAÇÃO de EQUIPAMENTOS

**TABLE 6**  
Installation cost for equipment as a percentage of the purchased-equipment cost†

Type of equipment	Installation cost, %
Centrifugal separators	20-60
Compressors	30-60
Dryers	25-60
Evaporators	25-90
Filters	65-80
Heat exchangers	30-60
Mechanical crystallizers	30-60
Metal tanks	30-60
Mixers	20-40
Pumps	25-60
Towers	60-90
Vacuum crystallizers	40-70
Wood tanks	30-60

† Adapted from K. M. Guthrie, "Process Plant Estimating, Evaluation, and Control," Craftsman Book Company of America, Solana Beach, California, 1974.

# EQUIPAMENTO vs INVESTIMENTO FIXO

**TABLE 4**  
Typical percentages of fixed-capital investment values for direct and indirect cost segments for multipurpose plants or large additions to existing facilities

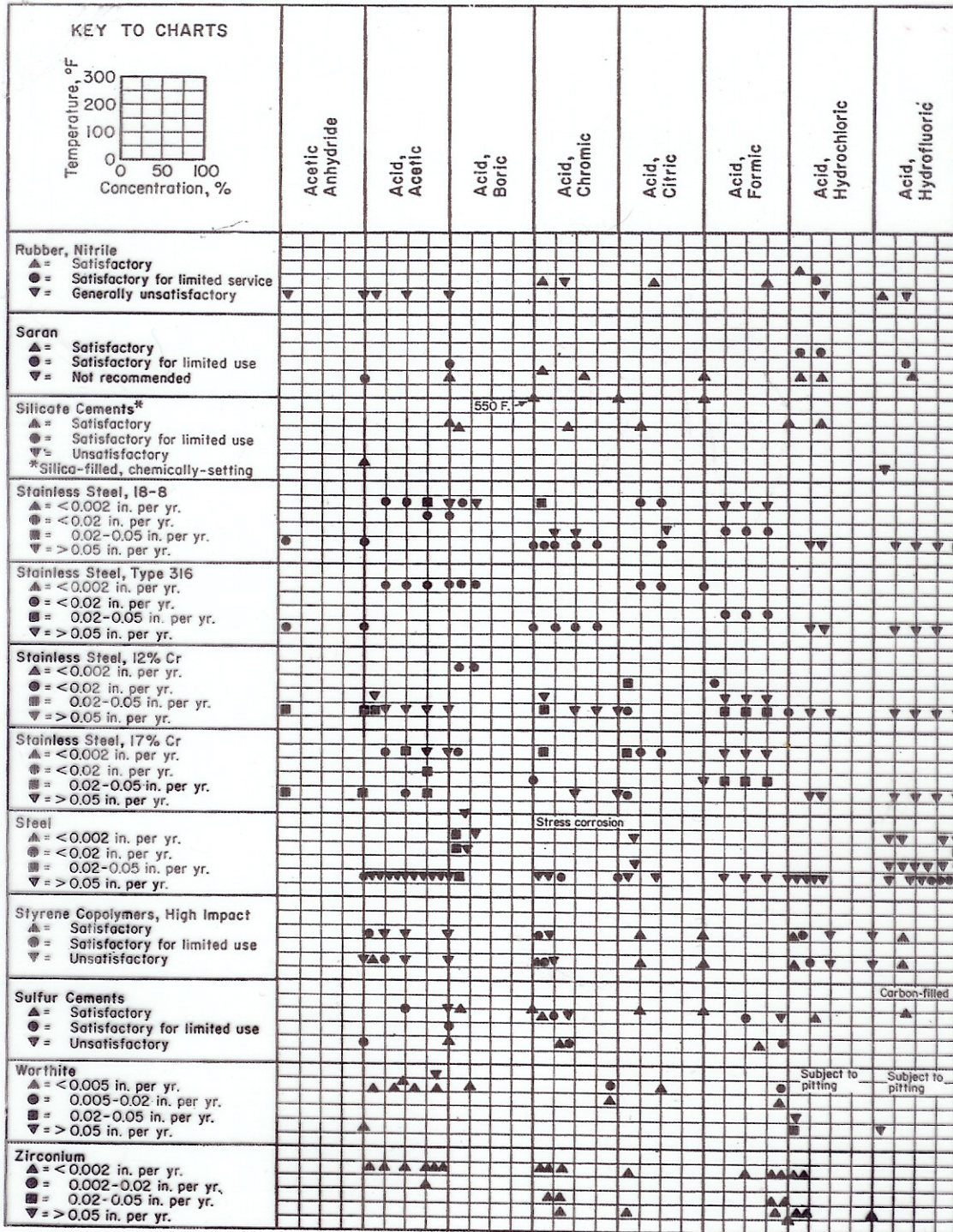
Component	Range, %
Direct costs	
Purchased equipment	15-40
Purchased-equipment installation	6-14
Instrumentation and controls (installed)	2-8
Piping (installed)	3-20
Electrical (installed)	2-10
Buildings (including services)	3-18
Yard improvements	2-5
Service facilities (installed)	8-20
Land	1-2
Total direct costs	
Indirect costs	
Engineering and supervision	4-21
Construction expense	4-16
Contractor's fee	2-6
Contingency	5-15
Total fixed-capital investment	

# MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

PROPERTIES OF MATERIALS

23-15

Table 23-4. Detailed Corrosion Data on Construction Materials\*—(Continued)



Perry

# FACTORES DE SOBREDIMENSIONAMENTO

TABLE 6  
Factors in equipment scale-up and design

Type of equipment	Is pilot plant usually necessary?	Major variables for operational design (other than flow rate)	Major variables characterizing size or capacity	Maximum scale-up ratio based on indicated characterizing variable	Approximate recommended safety or over-design factor, %
Agitated batch crystallizers	Yes	Solubility-temperature relationship	Flow rate Heat transfer area	>100:1	20
Batch reactors	Yes	Reaction rate Equilibrium state	Volume Residence time	>100:1	20
Centrifugal pumps	No	Discharge head	Flow rate Power input Impeller diameter	>100:1 >100:1 10:1	10
Continuous reactors	Yes	Reaction rate Equilibrium state	Flow rate Residence time	>100:1	20
Cooling towers	No	Air humidity Temperature decrease	Flow rate Volume	>100:1 10:1	15
Cyclones	No	Particle size	Flow rate Diameter of body	10:1 3:1	10
Evaporators	No	Latent heat of vaporization Temperatures	Flow rate Heat-transfer area	>100:1 >100:1	15
Hammer mills	Yes	Size reduction	Flow rate Power input	60:1 60:1	20
Mixers	No	Mechanism of operation System geometry	Flow rate Power input	>100:1 20:1	20
Nozzle-discharge centrifuges	Yes	Discharge method	Flow rate Power input	10:1 10:1	20 20

TABLE 6  
Factors in equipment scale-up and design (Continued)

Type of equipment	Is pilot plant usually necessary?	Major variables for operational design (other than flow rate)	Major variables characterizing size or capacity	Maximum scale-up ratio based on indicated characterizing variable	Approximate recommended safety or over-design factor, %
Packed columns	No	Equilibrium data Superficial vapor velocity	Flow rate Diameter Height to diameter ratio	>100:1 10:1	15
Plate columns	No	Equilibrium data Superficial vapor velocity	Flow rate Diameter	>100:1 10:1	15
Plate-and-frame filters	Yes	Cake resistance or permeability	Flow rate Filtration area	>100:1 >100:1	20
Reboilers	No	Temperatures Viscosities	Flow rate Heat-transfer area	>100:1 >100:1	15
Reciprocating compressors	No	Compression ratio	Flow rate Power input Piston displacement	>100:1 >100:1 >100:1	10
Rotary filters	Yes	Cake resistance or permeability	Flow rate Filtration area	>100:1 25:1	20
Screw conveyors	No	Bulk density	Flow rate Diameter Drive horsepower	90:1 8:1	20
Screw extruders	No	Shear rate	Flow rate Power input	100:1 100:1	20 10
Sedimentation centrifuges	No	Discharge method	Flow rate Power input	10:1 10:1	20 20
Settlers	No	Settling velocity	Volume Residence time	>100:1	15
Spray columns	No	Gas solubilities	Flow rate Power input	10:1	20

TABLE 6  
Factors in equipment scale-up and design (Continued)

Type of equipment	Is pilot plant usually necessary?	Major variables for operational design (other than flow rate)	Major variables characterizing size or capacity	Maximum scale-up ratio based on indicated characterizing variable	Approximate recommended safety or over-design factor, %
Spray condensers	No	Latent heat of vaporization Temperatures	Flow rate Height to diameter ratio	70:1 12:1	20
Tube-and-shell heat exchangers	No	Temperatures Viscosities Thermal conductivities	Flow rate Heat-transfer area	>100:1 >100:1	15

## ESPECIFICAÇÕES DE ALGUNS EQUIPAMENTOS

### BOMBAS

VARIÁVEIS DE PREÇO ⇒

- TIPO DE MATERIAL  
- FACTOR CAPACIDADE  $\left\langle \begin{array}{l} \text{CAUDAL} * \\ \Delta P \end{array} \right.$

ESPECIFICAR ⇒

- CAUDAL  
- DIFERENÇA DE PRESSÃO  
- NATUREZA DO FLUID A TRANSPORTAR  
- MATERIAL DE CONSTRUÇÃO  
- TIPO DE SERVIÇO  $\left\langle \begin{array}{l} \text{CONTÍNUO} \\ \text{DESCONTÍNUO} \end{array} \right.$   
- NPSH

### TIPOS

- CENTRÍFUGAS ( + UTILIZADAS )
- DESLOCAMENTO POSITIVO

$\left\{ \begin{array}{l} \text{ALTERNATIVAS - DIAFRAGMA ( PRECISAS)} \\ \text{ROTATIVAS} \left\langle \begin{array}{l} \text{- CARRETOS (+ UTILIZADAS)} \\ \text{- ÊMBOLO ( PRECISAS)} \\ \text{- PERISTALTICAS} \end{array} \right. \end{array} \right.$

### APLICAÇÃO

SEMPRE QUE POSSÍVEL, UTILIZAR CENTRÍFUGAS

MAS SE:

- $\Delta P$  ELEVADO
- CONSTÂNCIA DE CAUDAL (PRECISÃO)

ENTÃO NÃO DEDEM SER USADAS

**POTÊNCIA**

$$\text{Pot (kW)} = (1.67) \frac{Q \left( \text{m}^3 \text{min}^{-1} \right) [\Delta P(\text{bar})]}{\varepsilon_{\text{sh}}}$$

**ALGUMAS REGRAS HEURÍSTICAS**▶ **BOMBAS CENTRÍFUGAS**

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{1 andar} \Rightarrow 0,057 - 18,9 \text{ m}^3 \text{min}^{-1} \Rightarrow \text{max} = 152 \text{ m (liq)} \\ \text{multi} \Rightarrow 0,076 - 41,6 \text{ m}^3 \text{min}^{-1} \Rightarrow \text{max} = 1675 \text{ m (liq)} \end{array} \right.$$

$$\varepsilon_{\text{sh}} = \left\{ \begin{array}{l} \text{até } 0,378 \text{ m}^3 \text{min}^{-1} \Rightarrow 45 \% \\ \text{até } 1,89 \text{ m}^3 \text{min}^{-1} \Rightarrow 70 \% \\ \text{até } 37,8 \text{ m}^3 \text{min}^{-1} \Rightarrow 80 \% \end{array} \right.$$

▶ **BOMBAS ROTATIVAS**

$$\left\{ \begin{array}{l} 0,00378 - 18,9 \text{ m}^3 \text{min}^{-1} \Rightarrow \text{max} = 12 \text{ m (liq)} \\ \varepsilon_{\text{sh}} = 65 - 85 \% \end{array} \right.$$

▶ **BOMBAS ALTERNATIVAS (RECIPROCATING)**

$$\left\{ \begin{array}{l} 0,00378 - 37,8 \text{ m}^3 \text{min}^{-1} \Rightarrow \text{max} = 300 \text{ km (liq)} \\ \varepsilon_{\text{sh}} = \left\{ \begin{array}{l} \text{até } 7,46 \text{ kW} \Rightarrow 70 \% \\ \text{até } 37,3 \text{ kW} \Rightarrow 85 \% \\ \text{até } 373 \text{ kW} \Rightarrow 90 \% \end{array} \right. \end{array} \right.$$

▶ **NPSH DEVE SER EM EXCESSO. VALORES COMUNS: 1,2 – 6,1 m (liq)**



▶ **EFICIÊNCIA GLOBAL**

$$\epsilon_{ov} = \epsilon_{sh} \epsilon_{dr}$$

▶ **EFICIÊNCIA DE MOTORES ( $\epsilon_{dr}$ )**

- **A EFICIÊNCIA É > PARA MÁQUINAS >**
- **MOTORES ELÉCTRICOS ⇒ 85 – 95 %**
- **TURBINAS A VAPOR ⇒ 42 – 78 %**
- **MOTORES E TURBINAS A GÁS ⇒ 28 – 38 %**

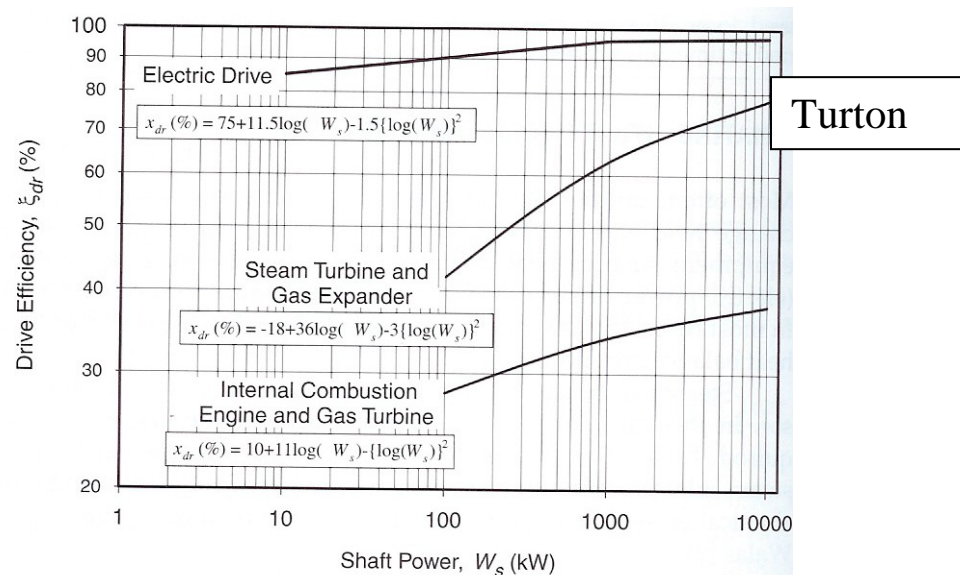


Figure 6.7 Efficiencies for Pumps and Compressor Drives (Data from Walas [9], Chapter 4)

- ▶ **ABAIXO DE 74,6 kW OS MOTORES ELÉCTRICOS SÃO USADOS QUASE EXCLUSIVAMENTE (PODEM SER USADOS ATÉ 14900 kW)**
- ▶ **TURBINAS A VAPOR SÃO COMPETITIVAS ACIMA DE 76,6 kW.**

**TUBAGENS****VARIÁVEIS DE PREÇO** ⇒

- TIPO DE MATERIAL
- DIÂMETRO
- CLASSE ( $\Delta P$ )

**CLASSE****Nº DE SCHEDULE**

$$SCH = 1000 \frac{P_s}{S_s} \quad (\text{AÇO})$$

 $P_s$  – PRESSÃO NO INTERIOR DA TUBAGEM $S_s$  – TENSÃO DE ROTURA DO MATERIAL

(AS MAIS USADAS SÃO DE CLASSE 40)

**ALGUMAS REGRAS HEURÍSTICAS**▶ **VELOCIDADES (u) e  $\Delta P$** 

$$\text{DESCARGA DE LÍQUIDOS} \Rightarrow \left\langle \begin{array}{l} u = 1,52 + 0,258 D (\text{cm}) \text{ m s}^{-1} \quad (1 - 3 \text{ m s}^{-1}) \\ \Delta P = 452 \text{ Pa} / \text{m} = 0,452 \text{ bar}/100 \text{ m} \end{array} \right.$$

$$\text{SUCÇÃO DE LÍQUIDOS} \Rightarrow \left\langle \begin{array}{l} u = 0,396 + 0,129 D (\text{cm}) \text{ m s}^{-1} \\ \Delta P = 68,1 \text{ Pa} / \text{m} = 0,068 \text{ bar}/100 \text{ m} \end{array} \right.$$

$$\text{GASES OU VAPOR} \Rightarrow \left\langle \begin{array}{l} u = 15,48 D (\text{cm}) \text{ m s}^{-1} \quad (20 - 60 \text{ m s}^{-1}) \\ \Delta P = 113,1 \text{ Pa} / \text{m} = 0,113 \text{ bar}/100 \text{ m} \end{array} \right.$$

## TANQUES DE ARMAZENAGEM

ESPECIFICAR ⇒

- TIPO DE MATERIAL DE CONSTRUÇÃO
- CAPACIDADE
- TIPO DE MATERIAL A ARMAZENAR

### LÍQUIDOS

- AÇO
- METAL EM GERAL

$< 3,8 \text{ m}^3 \Rightarrow$  verticais em 'pernas'

$3,8 - 38 \text{ m}^3 \Rightarrow$  horizontais em suporte de betão

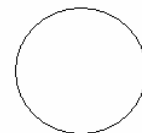
$> 38 \text{ m}^3 \Rightarrow$  verticais em sapatas de betão

- BETÃO

### SÓLIDOS



### GASES



## VENTILADORES, COMPRESSORES

**VARIÁVEIS DE PREÇO**  $\Rightarrow$  - CAPACIDADE  
- N° DE ANDARES ( $\Delta P$ )

**POTÊNCIA (Adiabática)**

$$\text{Pot} = \frac{G_m z_1 R T_1}{(k-1)/k} \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{(k-1)/k} - 1 \right]$$

- $k = \frac{C_p}{C_v}$  (=1,4 para gases diatómicos; razão de compressão  $\cong 4$ )
  - $G_m$  – Caudal molar
  - $z$  – Factor de compressibilidade
  - $T_2 = T_1 \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{(k-1)/k}$
- ▶ A razão de compressão deve ser aproximadamente a mesma em cada andar =  $\left( \frac{P_n}{P_1} \right)^{1/n}$  para  $n$  andares

**EFICIÊNCIAS**

ALTERNATIVOS		CENTRÍFUGOS	
RAZÃO DE COMPRESSÃO	$\varepsilon$ (%)	CAUDAL NA SUCCÃO ( $m s^{-1}$ )	$\varepsilon$ (%)
1,5	65	2,83 – 47,2	76–78
2,0	75		
3 – 6	80–85		

**ALGUMAS REGRAS HEURÍSTICAS**

- ▶ **VENTILADORES** são usados para subir a pressão de cerca de 3 % ( $\cong 30$  cm coluna de água)
- ▶ **COMPRESSORES DE BAIXA PRESSÃO (Blowers)** aumentam a pressão a menos de 2,75 barg
- ▶ **COMPRESSORES** aumentam a pressão a valores mais elevados

## BOMBAS DE VÁCUO

**VARIÁVEIS DE PREÇO** ⇒

- TIPO DE MATERIAL
- CAPACIDADE
- N° DE ANDARES ( $\Delta P$ )

**TIPOS**

- ALTERNATIVAS
- ROTATIVAS - PISTÃO
- ROTATIVAS - ANEL LÍQUIDO
- ROTATIVAS - LÓBULOS
- EJECTORES

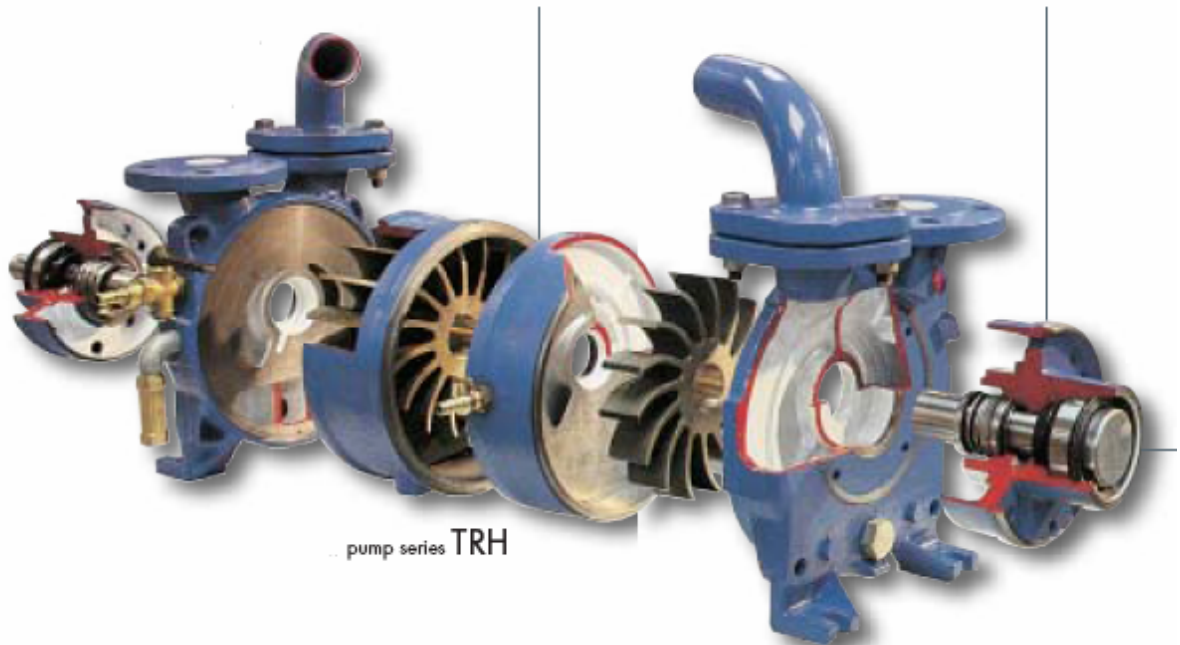
### ALGUMAS REGRAS HEURÍSTICAS

- **ALTERNATIVAS DE PISTÃO** **ATÉ 1 Torr**
- **ROTATIVAS DE PISTÃO** **ATÉ 0,001 Torr**
- **ROTATIVAS DE 2 LÓBULOS** **ATÉ 0,0001 Torr**
- **EJECTORES A VAPOR**

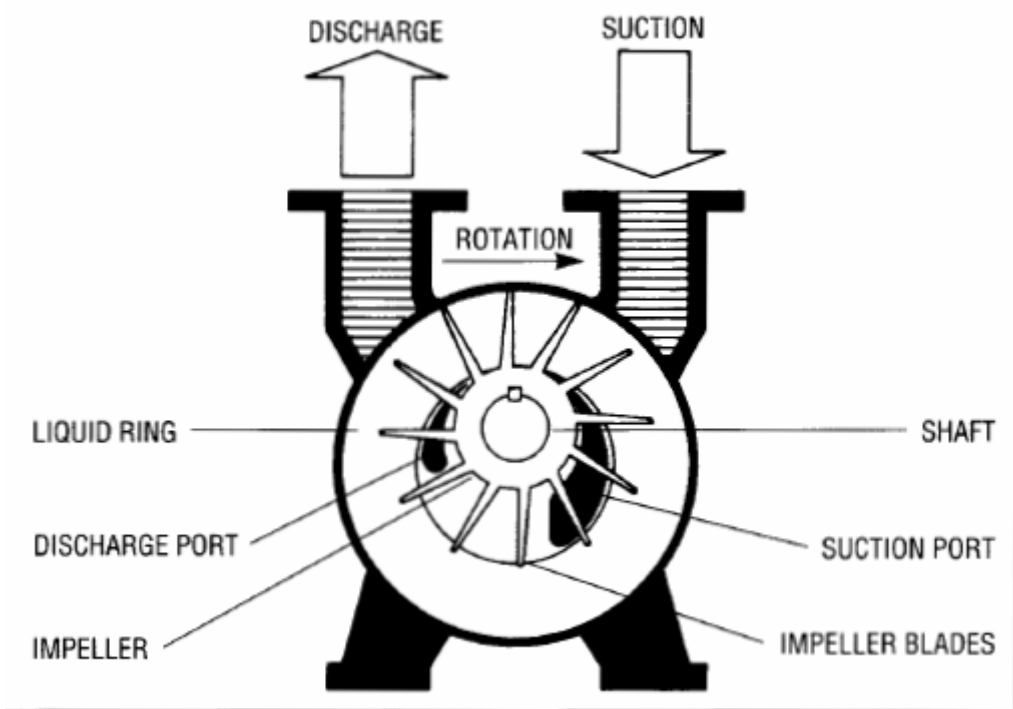
<b>1 ANDAR</b>	<b>ATÉ 100 Torr</b>
<b>3 ANDARES</b>	<b>ATÉ 1 Torr</b>
<b>5 ANDARES</b>	<b>ATÉ 0,05 Torr</b>
- **EJECTORES DE 3 ANDARES GASTAM CERCA DE 100 kg DE VAPOR / KG DE AR PARA MANTER UMA PRESSÃO DE 1 Torr**
- **CAUDAL DE FUGA**

$$Q_f \text{ (kg/h)} = \frac{1,903 V \text{ (m}^3\text{)} \Delta P \text{ (kPa)}}{t \text{ (h)}}$$

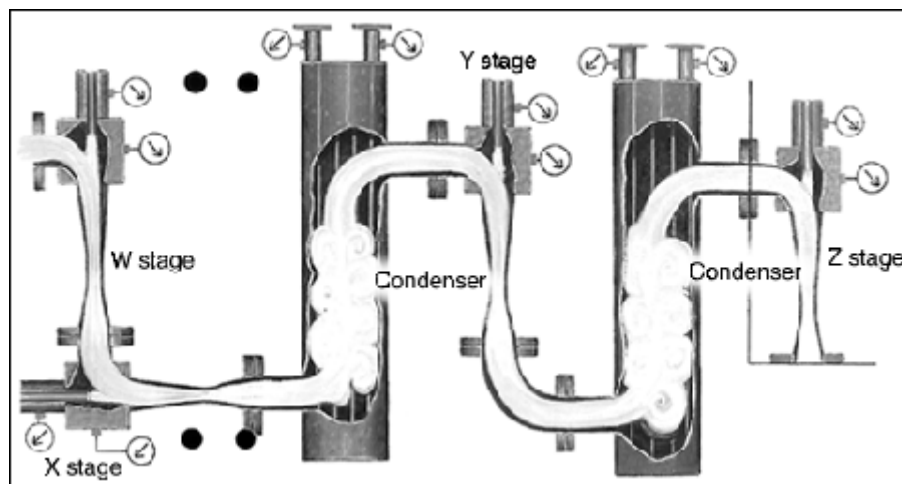
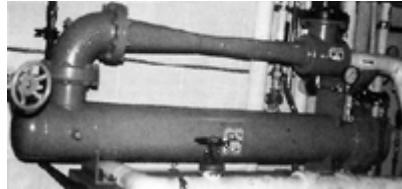
## BOMBAS DE ANEL LÍQUIDO



**FIGURE 1. PRINCIPLE OF OPERATION**



# EJECTORES



# DETERMINAÇÃO DO CAUDAL DE VAPOR PARA ACCIONAR OS EJECTORES

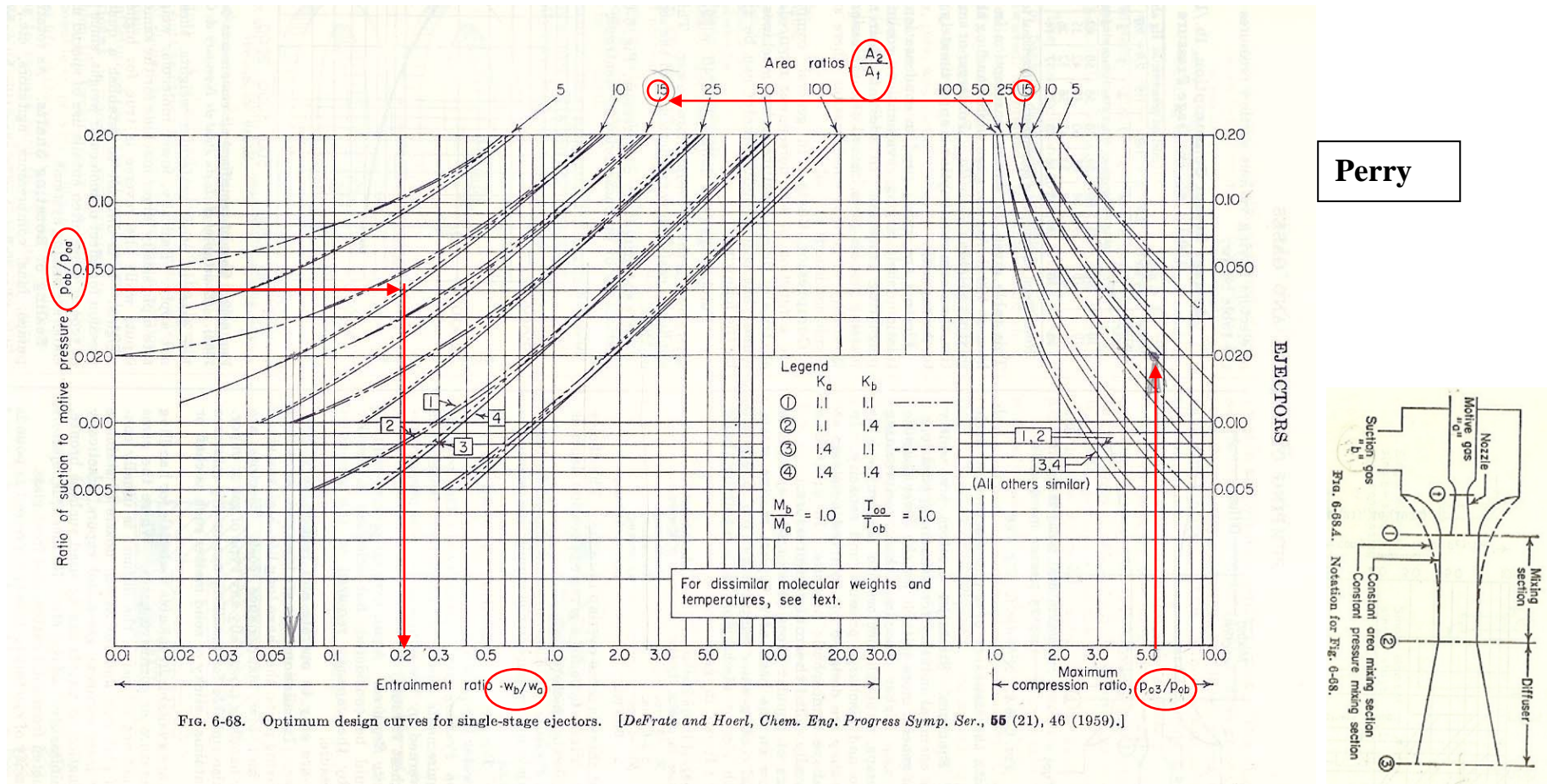


Fig. 6-68. Optimum design curves for single-stage ejectors. [DeFrate and Hoerl, Chem. Eng. Progress Symp. Ser., 55 (21), 46 (1959).]



**FILTROS**

**ESPECIFICAR**  $\Rightarrow$  | - TIPO  
| - ÁREA DE FILTRAÇÃO

**TIPO**

- ROTATIVO DE VÁCUO  $\left\{ \begin{array}{l} \text{TAMBOR} \\ \text{DISCOS} \end{array} \right.$   
 - TABULEIROS  
 - GRAVIDADE (FILTROS DE AREIA)  
 - PRESSÃO  $\left\{ \begin{array}{l} \text{PRENSA} \\ \text{FOLHAS} \\ \dots \end{array} \right.$

**MEDIDORES DE CAUDAL**

- ROTÂMETROS – CAUDAL  
 - ORIFÍCIO  
 - VENTURI  
 - TUBO DE PITOT  $\left. \vphantom{\begin{array}{l} \text{ORIFÍCIO} \\ \text{VENTURI} \\ \text{TUBO DE PITOT} \end{array}} \right\} - \Delta P$

## TRANSPORTE DE SÓLIDOS

ESPECIFICAR ⇒

- TIPO
- CAPACIDADE
- DISTÂNCIA
- INCLINAÇÃO

### TIPO

- CORREIAS – O ÂNGULO DE TALUDE NÃO PODE SER ULTRAPASSADO
- ALCATRUZES – PARA QUALQUER INCLINAÇÃO
- PARAFUSO SEM FIM
- CORRENTES (REDLER)
- PNEUMÁTICO



BUCKET ELEVATORS

### PREÇO

FUNÇÃO DA

CAPACIDADE  
DISTÂNCIA  
DIMENSÃO  
MATERIAL

## PERMUTADORES DE CALOR

**PREÇO** ⇒ ÁREA DE TRANFERÊNCIA PARA UMA DADA PRESSÃO

**ESPECIFICAR** ⇒

- TIPO
- MATERIAL
- ÁREA DE TRANSMISSÃO DE CALOR
- DIFERENÇA DE TEMPERATURAS
- PRESSÃO DE FUNCIONAMENTO
- PERDA DE CARGA MÁXIMA

## CENTRÍFUGAS

**PREÇO** ⇒ CAPACIDADE PARA O MESMO g

**ESPECIFICAR** ⇒

- TIPO
  - CONTÍNUAS - CESTO
  - DESCONTÍNUAS
    - CESTO
    - CONES
- MATERIAL
- NÚMERO DE ACELERAÇÕES
- CAPACIDADE

**COLUNAS****ESPECIFICAR** ⇒

- TIPO  $\left\{ \begin{array}{l} \text{DE PRATOS} \\ \text{DE ENCHIMENTO} \end{array} \right.$
- ALTURA
- DIÂMETRO
- CARACTERÍSTICAS  $\left\{ \begin{array}{l} \text{- PRATOS} \\ \text{- ENCHIMENTO} \end{array} \right.$

**PREÇO** ⇒

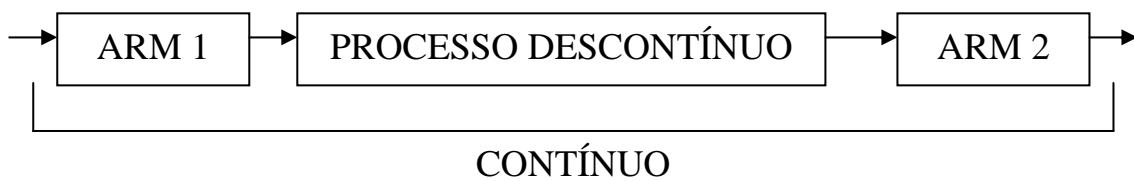
- COLUNA  $\left\{ \begin{array}{l} \text{- DIÂMETRO} \\ \text{- ALTURA} \\ \text{- MATERIAL} \end{array} \right.$
- PRATOS  $\left\{ \begin{array}{l} \text{- TIPO} \\ \text{- MATERIAL} \\ \text{- DIMENSÕES} \end{array} \right.$
- ENCHIMENTO  $\left\{ \begin{array}{l} \text{- TIPO} \\ \text{- MATERIAL} \\ \text{- DIMENSÕES} \\ \text{- VOLUME} \end{array} \right.$

## CONTINUALIZAÇÃO DE PROCESSOS

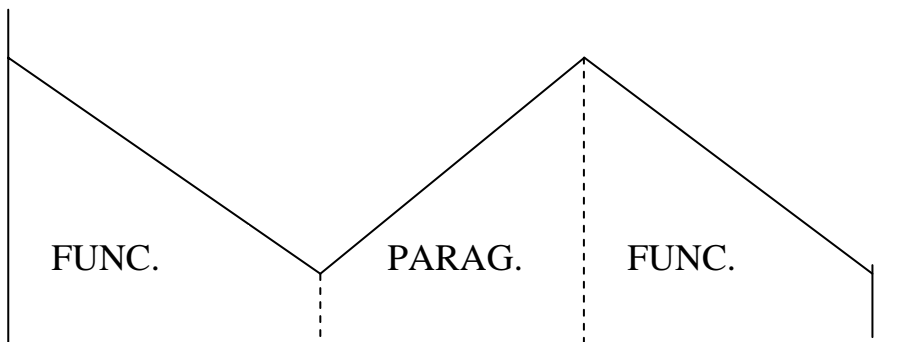
- OS **PROCESSOS CONTÍNUOS** SÃO OS QUE PERMITEM, EM GERAL, UM FUNCIONAMENTO MAIS ECONÓMICO DA PRODUÇÃO.
- MESMO NUMA LINHA QUE ESSENCIALMENTE FUNCIONA DE MANEIRA CONTÍNUA, PODE HAVER OPERAÇÕES DESCONTÍNUAS.
- O PROCESSO DE INTEGRAR ESSAS OPERAÇÕES NUM SISTEMA PSEUDO-CONTÍNUO É O QUE SE DENOMINA DE **CONTINUALIZAÇÃO DO PROCESSO**.

PODE CONTINUALIZAR-SE O PROCESSO:

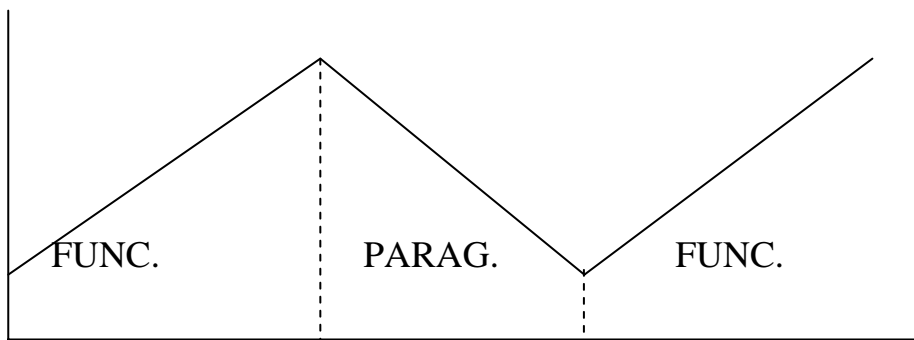
1. ATRAVÉS DO USO DE **TANQUES DE ARMAZENAGEM** (ARM) ANTES E DEPOIS DE UM DETERMINADO PROCESSO DESCONTÍNUO.



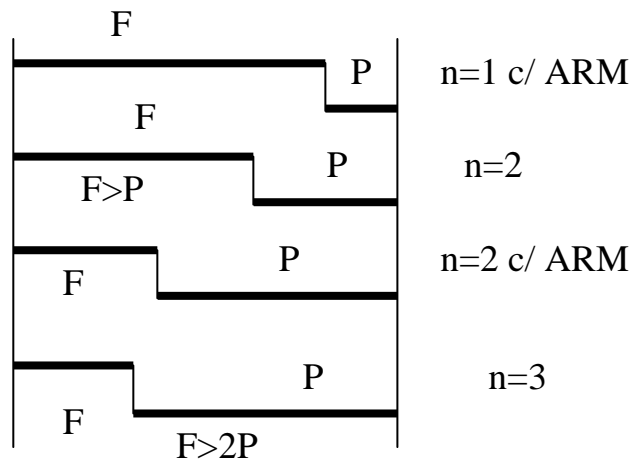
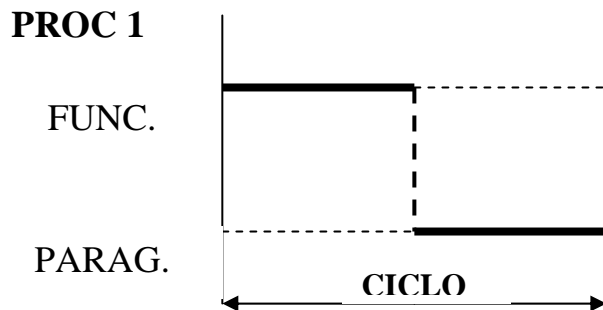
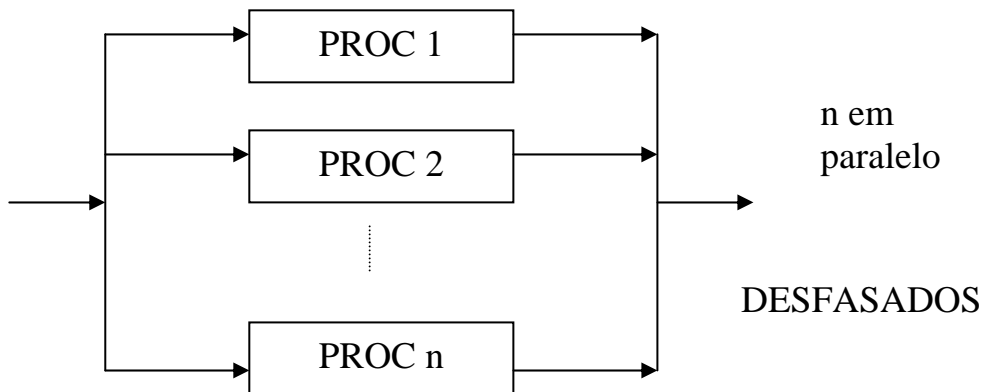
ARM1



ARM2



2. ATRAVÉS DA **MONTAGEM DE VÁRIAS UNIDADES EM PARALELO**. DESFASANDO OS CICLOS DE FUNCIONAMENTO. DE TAL MODO QUE ESTEJA SEMPRE, PELO MENOS UMA UNIDADE NA FASE DE FUNCIONAMENTO.



**BIBLIOGRAFIA**

J. H. Perry, "Chem. Engineer's Handbook", McGraw-Hill

L. Almeida Alves, “Tecnologia Química – numa perspectiva de gastar dinheiro sem perder dinheiro”, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1991.

J. M. Coulson, J. F. Richardson, "Tecnologia Química", Fund. Calouste Gulbenkian, Lisboa, Vol I-VI.

C. J. Geankoplis, “Transport Processes and Unit Operations”, 3<sup>rd</sup> Ed., Prentice Hall, 1993.

M.S. Peters and K.D. Timmerhaus, "Plant design and economics for chemical engineers." Mc. Graw-Hill, 4<sup>a</sup> Ed., 1991.

R. Turton, R.C. Bailie, W.B. Whiting, J. A. Shaeiwitz, “Analysis, Synthesis, and Design of Chemical Processes”, Prentice Hall, NJ, 1998.

C. Branan, “Rules of Thumb for Chemical Engineers, 3<sup>rd</sup> Ed. Gulf Professional Publishing, 2002.

Outra ⇒ <http://dequim.ist.utl.pt/doe/>